

Auninnot 30, 1931.

W. Helander, Herta

347 318

Par p...
Sessid...
Arstiteaduskond

*Käesolev töö on tehtud
erimessele auhinnale
Autor: stud...*

Arstiteaduskond
Tartu Ülikool

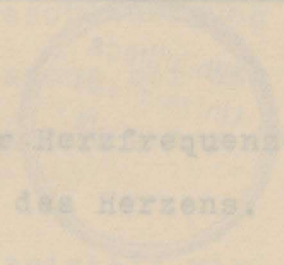
Tartu Ülikool.
Arstiteaduskond

Sessuin. „ 30. X 1931.
№ 602.

Handwritten signature
Tartu Ülikooli...

PULSPREKVENTSI VÕNKUMISED SÜDAME KOORMATUSE KORRAL.

Die Schwankungen der Herzfrequenz bei Belastung
des Herzens.



231...

L i t e r a t u r .

Par praemium labori.

Verschiedene Autoren wie Vierordt¹, von der Mühl², Hübler³ waren die ersten, die fanden, dass die Pulsfrequenz regelmäßig sei, wie die Palpation angibt, sondern dass bei Registrierung Unregelmässigkeiten auftreten und kürzere Pulszeiten in verschiedener Weise wechseln. Untersucher wie Hering⁶, Funke⁷, Münzer⁸, Pongs⁹, Lommel¹⁰, Wiersma¹¹, erkannten die Abhängigkeit der Unregelmässigkeit von der Atmung, und zwar beobachteten sie gewöhnlich eine Beschleunigung des Pulses bei der Inspiration und eine Verlangsamung bei der Expiration. Diese Schwankungen der Herzfrequenz bei Belastung der respiratorischen Arrhythmie.

Käesolev töö on 1. detõ: 1931a. tunnustatud esimese auhinna vääriliseks.
Autor: stud.-med. Bertha Wickelsson.

Staubert
Jarhi ilikooli Sekreter

PULSFREKVENTSI VÖNKUMISED SÜDAME KOORMATUSE KORRAL.

Eine weitere Unregelmässigkeit wird bedingt durch Wellen langsamerer Art, die sich über mehrere Atemzüge hinziehen und wohl ihre Entstehung Tonusschwankungen des vegetativen Nervensystems verdanken. Diese langsamen Wellen sind von Staehelin¹² während und in Anschluss an Arbeit beschrieben worden, auch Blumenfeld und Putzig¹³, sowie Pongs¹⁴

1. Vierordt, K. Die Lehre von Arterienpuls. S. 81. Braunschweig, 1885, Vieweg u. Sohn.
2. Von der Mühl, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 49, S. 350, 1892
3. Hübler, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 54, S. 229, 1895
4. Janowski, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 91, H. 3/4, 1907
5. Mosler, E. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 75, S. 472, 1912
6. Hering, E. K. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 64, 1871
7. Funke, R. Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 465, 1909 u. S. 396, 1914
8. Münzer, E. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 75, S. 251, 1912
9. Pongs, A. Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 395, 1914
10. Lommel, Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 404, 1914
11. Wiersma, E. D., Zeitschr. f. d. ges. Neurologie u. Psychiatrie, Bd. 19 S. 1, 1913
12. Staehelin, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 59, S. 79, 1897
13. Blumenfeld u. Putzig, Pflügers Arch. Bd. 155, S. 443, 1914
14. Pongs, A. Der Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, Berlin, Springer, S. 81, 1923

2000000
818 818

Parliamentary Laboratory
=====

Körperliche Arbeit ist ein wichtiger Bestandteil
des menschlichen Lebens. Sie ist die Grundlage
für die Entwicklung der Persönlichkeit und
die Erhaltung der Gesundheit.

[Handwritten signature]
Gottfried Wilhelm Leibniz

PUISPREKVENTSI VOKUMISED SUDAME KOORMATUSE KORRAL.



Die Schwankungen der Herzfrequenz bei Belastung
des Herzens

D322186

L i t e r a t u r .

Verschiedene Autoren, wie Vierordt¹, von der Mühl², Hüsler³, Janowski⁴, Mosler⁵, waren die ersten, die fanden, dass die Pulsfrequenz nicht so regelmässig sei, wie die Palpation angibt, sondern dass bei Registrierung Unregelmässigkeiten auftreten, indem längere und kürzere Pulszeiten in verschiedener Weise miteinander abwechseln. Untersucher wie Hering⁶, Funke⁷, Münzer⁸, Pongs⁹, Lommel¹⁰, Wiersma¹¹, erkannten die Abhängigkeit der Unregelmässigkeit von der Atmung, und zwar beobachteten sie gewöhnlich eine Beschleunigung des Pulses bei der Inspiration und eine Verlangsamung bei der Expiration. Diese Schwankungen der Frequenz sind bekannt unter der Bezeichnung der respiratorischen Arrhythmie.

Eine weitere Unregelmässigkeit wird bedingt durch Wellen langsamerer Art, die sich über mehrere Atemzüge hinziehen und wohl ihre Entstehung Tonusschwankungen des vegetativen Nervensystems verdanken. Diese langsamen Wellen sind von Staehelin¹² während und in Anschluss an Arbeit beschrieben worden, auch Blumenfeld und Putzig¹³, sowie Pongs¹⁴

1. Vierordt, K. Die Lehre vom Arterienpuls. S. 81. Braunschweig, 1885, Vieweg u. Sohn.
2. Von der Mühl. Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 49, S. 360, 1892
3. Hüsler, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 54, S. 229, 1895
4. Janowski, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 91, H. 3/4, 1907
5. Mosler, E. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 75, S. 472, 1912
6. Hering, E. K. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 64, 1871
7. Funke, R. Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 465, 1909 u. S. 396, 1914
8. Münzer, E. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 75, S. 251, 1912
9. Pongs, A. Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 393, 1914
10. Lommel, Verhandl. d. Kongr. f. Inn. Med. S. 404, 1914
11. Wiersma, E. D., Zeitschr. f. d. ges. Neurologie u. Psychiatrie, Bd. 19 S. 1, 1913
12. Staehelin, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 59, S. 79, 1897
13. Blumenfeld u. Putzig, Pflügers Arch. Bd. 155, S. 443, 1914
14. Pongs, A. Der Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, Berlin, Springer, S. 81, 1923

und Funke¹ haben sie gefunden. Von Fleisch und Beckmann² sind sie eingehender untersucht und als Langwellen bezeichnet worden. Unten wird noch näher auf sie eingegangen werden.

Verschiedene Autoren haben einen auffallend regelmässigen Puls bei bestimmten Erkrankungen beschrieben, der infolge der geringen Schwankungen als "starr" bezeichnet wird. Eine pathologische Pulsstarre wird bei Fiebernden von Kraus und Seelig³, Lommel⁴ und Janowski⁵ beobachtet, letzterer findet sie auch bei Nerven- und Herzkranken. Zu den gleichen Resultaten gelangen Funke⁶, Pongs⁷ und Fleisch und Beckmann⁸ bei Myokarditis, Herzinsuffizienz und auch anderen pathologischen Zuständen.

Diese pathologische Starre lässt die Frage aufkommen, ob sie eventuell nur eine Äusserung der beim Herzkranken häufig gesteigerten Frequenz sei, oder ob ein neuer, noch unbekannter Faktor sie erzeuge. Damit ist die Aufgabe der Untersuchung der verminderten und erhöhten Pulsfrequenz gegeben, indem die Schwankungen des Pulses in Ruhe und bei Arbeit festgestellt werden. Das Ziel einer solchen Untersuchung bildet der Nachweis, ob die Unregelmässigkeiten des Pulses, d.h. das Schwankungsmass der Pulsfrequenz bei Arbeit geringer wird und, falls eine Abnahme stattfindet, eine Starre von gleichem Masse eintritt, wie sie in pathologischen Fällen beobachtet worden ist.

1. Funke, R. Verhandl. d. Kongr. f. inn. Med. 1909, S. 465 u. 1914, S. 396.
2. Fleisch, A. u. R. Beckmann, Z. f. d. ges. exp. Med., Bd. —, 1931. (Im Druck)
3. Kraus u. Seelig, Med. Klinik Nr. 18, S. 670, 1927.
4. Lommel, Deutsch. Arch. f. klin. Med., Bd. 72, S. 215, 1902.
5. Janowski, Deutsch. Arch. f. klin. Med., Bd. 91, H. 3/4, 1907.
6. Funke, R. Verh. d. Kongr. f. inn. Med., 1914, S. 396.
7. Pongs, A. Der Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, Springer, Berlin. 1923.
8. Fleisch, A. u. R. Beckmann, Z. f. d. ges. exp. Med., Bd. —, 1931. (Im Druck)

ganzen Untersuchungen zur Klarlegung der näheren Beziehungen zwischen körperlicher Arbeit und Herztätigkeit sind von vielen Forschern unternommen worden, ist doch die beschleunigte Pulsfrequenz neben der gesteigerten Atmung die auffälligste Reaktion des Körpers auf Muskelarbeit. Eingehender mit dieser Frage haben sich neben anderen Untersuchern Jaquet¹ und Bainbridge² befasst. Die einheitlichen Befunde aller Autoren ergeben eine Steigerung der Pulsfrequenz während und nach Arbeitsleistung, wobei nach Stähelin³ und Liljestrand und Stenström⁴ die Frequenzzunahme bei vergrößerter Arbeit steigt, doch nur so lange bis ein gewisses Maximum von Pulsbeschleunigung das individuellen Schwankungen unterworfen ist, eintritt. Nach Aulo⁵ und anderen Autoren setzt die Beschleunigung sofort mit dem Beginn der Arbeit ein, erreicht nach kurzer Zeit eine bestimmte Pulsfrequenz und hält sich bis zur Beendigung der Arbeit auf derselben Höhe. Wird die Arbeit erschwert, so erfolgt eine neue Zunahme der Pulsfrequenz, die aber im Verhältnis zur ersten Steigerung geringer ist. Wird das Arbeitstempo ermässigt, so geht auch je nach dem Arbeitsgrad und der Arbeitsdauer die Frequenz in kurzer oder längerer Zeit zur Norm zurück.

Als Ursache der motorischen Acceleration bei Muskelarbeit kommt nach Hering⁶ eine Herabsetzung des Vagus-, als auch eine Steigerung des Acceleranstonus in Betracht. Bainbridge sieht als auslösenden Reiz für die Herabsetzung des Vagustonus die venöse Drucksteigerung an, während nach Johansson⁷ im

1. Jaquet, A. Muskelarbeit u. Herztätigkeit, Basel, 1920
2. Bainbridge, Muscular exercise, London, 1923
3. Stähelin, Einfluss d. Muskelarbeit auf d. Herztätigkeit, Basel, 1897
4. Liljestrand u. Stenström, Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 39, 1923
5. Aulo, Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 21, S. 146, 1909
6. Hering, Pflügers Arch., Bd. 60, S. 429, 1895
7. Johansson, Skandinav. Arch. f. Physiol. Bd. 5, S. 20, 1893

ganzen vier Faktoren die Herztätigkeit bei Muskelarbeit beeinflussen, und zwar sind dieselben: 1) Miterregung der Herznervenzentren, 2) Reflexe infolge sensibler Reize, 3) Einwirkung von Dissimilationsprodukten aus den tätigen Muskeln und 4) Einwirkung veränderter Zirkulationsverhältnisse, veranlasst durch vasomotorische Einflüsse und Atembeschleunigung.

Auch die Bluttemperatur beeinflusst, wenn auch in geringerem Grade, die Pulsfrequenz. Mansfeld¹ und Aulo² haben an Versuchen gewisse Beziehungen zwischen der Temperatursteigerung bei Muskelarbeit und dem gleichzeitigen Anstieg der Pulsfrequenz festgestellt.

1. Mansfeld, G. Pflügers Archiv, Bd. 84, S. 598, 1910

2. Aulo, Skandinav. Arc. f. Physiol., Bd. 21, S. 146, 1909.

Die Ausmessungen der einzelnen Pulse sind bei dieser Methode sehr zeitraubend, auch unterlaufen leicht Ungenauigkeiten.

Der Pulsresonator von Kraus und Goldschmidt⁵ suchte diesen Mängeln abzuweichen durch ein Prinzip, das die Pulsfrequenzen pro Minute graphisch als Ordinate registriert. Auf diese Weise liess sich die Untersuchung auf eine längere Zeit ausdehnen. Der Apparat hat das Resonanzprinzip zur Grundlage. Mit Hilfe der auf die Art. radialis angebrachten Pulpelotte schliesst jede Pulswelle einen elektrischen Stromkreis, der einen Elektromagneten induziert. Dieser Elektromagnet setzt eine Serie von Pendelchen von bestimmter Eigenschwingungsfrequenz in pendelnde Bewegung.

1. von der Mühl, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 49, S. 360, 1892.

2. Janowski, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 54, H. 3/4, 1907.

3. Hübler, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 54, S. 229, 1895.

4. Mosler, Z. f. klin. Med. Bd. 75, S. 472, 1912.

5. Kraus, F., R. Goldschmidt und S. Seelig, Z. exp. Med. 53, S. 249, 1926.

Anwendbare Methoden.

Die bis jetzt angewandten Registriermethoden der Pulsfrequenz sind mit einer ganzen Reihe von Mängeln behaftet. Mit Hilfe des Jaquet'schen Sphygmographen, dessen sich von der Mühl¹, Janowski² und in modifizierter Form Mosler bedient haben, kann nur eine geringe Anzahl von Pulsen fortlaufend registriert werden, da für eine Untersuchung von 1 Stunde Dauer etwa 200 Meter Papier verwandt werden müssten. Die Analysen beschränken sich aus diesem Grunde auf eine kleine Pulsanzahl; so stellte von der Mühl Kurvenreihen von 6 - 8 Pulsen dar, die Versuche von Janowski umfassten 10 Pulse, Hüsler³ und Mosler⁴ unterzogen der Analyse ca 40 Pulse. Die Ausmessungen der einzelnen Pulse sind bei dieser Methode sehr zeitraubend, auch unterlaufen leicht Ungenauigkeiten.

Der Pulsresonator von Kraus und Goldschmidt⁵ suchte diesen Mängeln abzuhelpen durch ein Prinzip, das die Pulsfrequenzen pro Minute graphisch als Ordinate registriert. Auf diese Weise liess sich die Untersuchung auf eine längere Zeit ausdehnen. Der Apparat hat das Resonanzprinzip zur Grundlage. Mit Hilfe der auf die Art. radialis angebrachten Pulspelotte schliesst jede Pulswelle einen elektrischen Stromkreis, der einen Elektromagneten induziert. Dieser Elektromagnet setzt eine Serie von Pendelchen von bestimmter Eigenschwingungsfrequenz in pendelnde Bewegung.

1. von der Mühl, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 49, S. 360. 1892.
2. Janowski, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. ~~84~~ 91, H. 3/4. 1907.
3. Hüsler, Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 54, S. 229. 1895.
4. Mosler, Z. f. klin. Med. Bd. 75, S. 472. 1912.
5. Kraus, F., R. Goldschmidt und S. Seelig, Z. exp. Med. 53, S. 249, 1926.

Dasjenige Pendelchen, dessen Eigenschwingungsfrequenz mit dem Rhythmus des Pulses harmoniert, schwingt am stärksten und schreibt diese Schwingungsfrequenz auf Registrierpapier.

Mit dieser Apparatur sind ganz wenig Untersuchungen ausgeführt worden wegen methodischer Mängel. Da der Pulsresonator nur 6 - 8 Pulsvarianten in der Minute registriert, so wird er nach Goldscheider¹, ferner nach Fürstenberg und Hoffstaedt² seiner Aufgabe nicht gerecht.

M e t h o d i k.

Die im folgenden angeführten Versuche sind mit dem von A. Fleisch³ konstruierten Pulszeitschreiber (Abb. 1) ausgeführt. Der Apparat schreibt mit Hilfe eines Schreibschlittens als Ordinate das zwischen zwei Pulssystolen liegende Zeitintervall.

Das Prinzip des Apparates ist folgendes: Ein Schreibschlitten Sch wird durch eine rotierende Schnurscheibe in der Zeit zwischen zwei Pulssystolen mit konstanter Geschwindigkeit senkrecht nach oben gezogen. Durch jede Pulssystole wird die Scheibe S, welche durch eine magnetische Kraft an einen Topfmagneten ^{RM} angezogen und durch die entstehende Friktion mitgedreht wird, eine kurze aber genau definierte Zeit losgelassen. Eine Feder F zieht den Schreibschlitten Sch, indem sie die Scheibe S zu gleicher Zeit rückwärts dreht, rasch in die Ausgangslage zurück. Die Steiggeschwindigkeit des Schlittens Sch beträgt 100 mm/Sek., demnach entspricht 1 mm Ordinate dem Zeitintervall von 1/100 Sek.

1. Goldscheider, Med. Klinik 1927, S. 900.
2. Fürstenberg u. Hoffstaedt, Klin. Wschr. 1929, S. 1451.
3. Fleisch, A. Z. f. d. ges. exp. Med. 1930, S. 384.

Ist das bestimmte Zeitintervall (12/100 Sek.) abgelaufen, so wird der rotierende Topfmagnet wieder eingeschaltet und zieht den Schreibrutschen Sch neuerdings in die Höhe. Die Ordinate bedeutet also das Zeitintervall von Mitte der einen Pulssystole bis zur Mitte der anderen. Der mit sehr grosser Konstanz rotierende Topfmagnet (magnetische Kuppelung) wird über 4 Wellen, 7 Reduktionsrädersatz und eine Riemenübertragung von einem elektrischen Kleinmotor^{EM} (Asynchronmotor für 50 Perioden) mit einer Tourenzahl von ca 1400 Touren angetrieben. Der durch den Radialispuls in einer Quecksilberpelotte geschlossene Stromkreis bedient einen Pulsmagneten PM, dessen Anker über eine Schaltscheibe den Schaltmechanismus für den genauen Stromunterbruch im Topfmagneten steuert.

Die Steuerung geschieht folgendermassen: Beim jeweiligen Einschalten des Pulsmagneten PM (durch den Radialispuls in der Pelotte) wird der Anker Ank angezogen und lässt die durch ihn blockierte (in ihrer Rotation gehinderte) Schaltscheibe Schb, welche durch Friktion die Tendenz hat, sich mit der untersten Welle zu drehen, eine Rotation ausführen. Ein auf dieser Schaltscheibe sitzendes Isoliersegment unterbricht bei einer Rotation den Strom im Topfmagneten RM auf 12/100 Sek., welche letzterer die Scheibe S für den Rücklauf freigibt. In diesen genannten 12/100 Sek. Unterbrechungszeit, die der Schreibrutschen Sch für den Rücklauf benötigt, würde der letztere 12 mm steigen, da ein Zeitintervall von 12/100 Sek. einer Ordinate von 12 mm entspricht. Um nun bei der Auswertung der Kurven trotzdem absolute Werte zu erhalten, müssen diese 12 mm zur geschriebenen Ordinate hinzuaddiert werden. Dieses wird sehr einfach dadurch bewerkstelligt, dass durch eine spezielle Schreibspitze NL 12 mm unterhalb des ruhenden Schreibrutchens Sch die eigentliche Nulllinie geschrieben wird. Bei der Deutung der Kurven ist somit streng darauf zu achten, dass die einzelnen

Ordinaten nicht von der Nulllinie des Schlittes Sch, sondern von der Nulllinie NL, die von der Spitze des Nulllinienschreibers gezogen wird, gemessen werden. Bei der Reduktion 1:1 (1 mm Ausschlag = 1/100 Sekunden) können Zeitintervalle von 0,22 - 1,5 Sekunden (Frequenzen von 40 - 270) registriert werden. Sind grössere Zeitintervalle (kleinere Frequenzen) zu verzeichnen, so kann durch Umschaltung der Rädersatzes die Steiggeschwindigkeit des Schlittens verkleinert werden. Die Umschaltung geschieht durch die Schaltknöpfe RU, L, und RO, wobei folgende 7 Reduktionen ermöglicht werden:

1:1; 1:2; 1:5; 1:10; 1:20; 1:50; 1:100.

Bei der Reduktion 1:2 bedeutet somit 1 mm Ausschlag das Zeitintervall von 2/100 Sek. Die Rückfallzeit des Schlittens Sch (12/100 Sek.) entspricht somit nicht mehr dem Vertikalabstand zwischen Nulllinienschreiber NL und Schlitten Sch von 12 mm, sondern nur der Hälfte desselben, 6 mm.

Um während der Registrierung Signale (Atmung, Störungen) auf die Kurve zu bringen, lässt sich von der Pelotte aus der Signalmagnet SM, dessen Schreibspitze senkrecht unter derjenigen des Schlittens Sch liegt, bedienen, wobei jede Stromschliessung eine Vertikalverschiebung der Schreibspitze des Signalmagneten SM erwirkt.

Der Apparat weist hohe Präzision auf; bei der Genauigkeitsbestimmung ergibt sich für jedes Zeitintervall ein mittlerer Fehler von $\pm 0,003$ Sek. bis $\pm 0,004$ Sek. Zur Zeitbestimmung wurde der Jaquet'sche Chronograph benutzt, der jede sechste Sekunde mit einem Ausschlag registriert.

Pulszeitschreiber und Pulspelotte sind durch ein Kabel untereinander verbunden, so dass sich Versuchspersonen und Apparat räumlich auf grössere Strecken trennen lassen (ca 50 Meter).

Die Funktion der Pulspelotte ist folgende: Die Pulswelle in der Art. radialis wirkt sich durch eine Gummimembran hindurch auf die in einer Glaskapillare befindliche Quecksilbersäule aus, wobei jede Pulssystole einen Anstieg der Quecksilbersäule von 5 - 15 mm erzeugt. Die Quecksilberkuppe in der Kapillare schliesst einen Stromkreis, der den Pulszeitschreiber bedient.

Beim regelmässigen Rhythmus des Herzschlages ist durch die Angabe der Minutenfrequenz auch das Zeitverhältnis der aufeinander folgenden Herzschläge bestimmt. Variiert hingegen die Herzperiodenlänge, so hat die Angabe der auf eine Zeiteinheit entfallenden Herzperiodenzahl eine bloss geringe Bedeutung, da die verschiedenartige Dauer der einzelnen Herzperioden in dieser Weise nicht zum Ausdruck gelangen.

Soll bei Rhythmusschwankungen auf die Bestimmung der Länge, des Längenunterschiedes und der Anordnung der Herzperioden Gewicht gelegt werden, so führt nur eine genaue Angabe der Zeitdauer der einzelnen aufeinander folgenden Herzperioden zum Resultat. Durch die Registrierung des zwischen 2 Systolen verlaufenden Intervalls ist das Zeitverhältnis der aufeinander folgenden Herzschläge und damit auch die Länge, die Anordnung und der Längenunterschied der Herzperioden nachgewiesen. Daher ist die Registrierung der Herzaktion in Form von Zeitintervallen durchaus berechtigt, obgleich der Kliniker gewohnt ist, in Minutenfrequenzen zu messen.

Die mit dem Pulszeitschreiber registrierten Zeitintervalle, die, wie oben angegeben, die Zeitdauer von der Mitte der einen Pulssystole bis zur Mitte der nächsten Pulssystole verzeichnen, werden in Übereinstimmung mit $F l e i s c h^1$ als Pulszeiten bezeichnet.

1. Fleisch, A. und R. Beckmann, Z.f.d.ges.exp.Med. 1931. (Im Druck).

Zur Erzielung einer Belastung des Herzens wurde als Arbeitsform der Gehakt gewählt, der vor allen Arbeitsformen den Vorzug hat, dass ihm zur Erhaltung eines hohen Nutzeffektes kein Training voranzugehen braucht, da es wohl den meisten Personen an Übung im Gehen nicht mangelt.

Als Arbeitsapparat ist mir eine Treibbahn, geliehen vom Physiologischen Institut in Zürich, von Prof. Fleisch freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

Sie ist nach Fleisch¹ von folgender Konstruktion: Durch einen Elektromotor von $\frac{1}{2}$ PS wird ein endloser Teppich, der über 2 eiserne Walzen und dicht aneinander liegende Stahlrollen rollt, angetrieben. Die Geschwindigkeit der Rollbewegung des Teppichs kann mit Hilfe eines Stufenkonus durch Riemenverstellung auf 3 Hauptgeschwindigkeiten, die im Verhältnis von 1:2, 2:4, 7 zueinander stehen, abgeändert werden. Die Feineinstellung auf dazwischen liegende Geschwindigkeiten wird durch ein Doppelkonusgetriebe mit Riemen ermöglicht. Ein Tourenzähler dient zur Bestimmung der Marschgeschwindigkeit.

Die Präzision der Methode ist gross. Der zurückgelegte Weg kann mit einer Fehlergrösse von nur $\pm 1\%$ bestimmt werden, der Fehler für die Höhendifferenz beträgt ± 3 cm für 100 Meter der zurückgelegten Wegstrecke.

Zur Ausführung des Arbeitsversuches ist folgende Methode angewendet worden: Die Versuchsperson wurde veranlasst wenigstens 10 Min. lang im liegenden Zustande in voller Ruhe zu verweilen, um eine Nachwirkung eventuell vorhergehender Arbeitsleistung nach Möglichkeit auszuschalten. Darauf wurde die Pulsfrequenz im Liegen und im Stehen je 5 Minuten lang registriert. Dem Stehen schloss sich das Gehen

1. Fleisch, A., Pflügers Arch., Bd. 212, H. 1, 1926.

auf der Tretbahn an. Es waren 2 Geschwindigkeiten gewählt worden; die Registrierung der Pulsfrequenz während des langsamen Ganges erfolgte sofort nach der Registrierung des Stehens, während beim raschen Gang die Versuchsperson 3 Min. lang Steigarbeit leistete, ohne dass eine Aufnahme der Pulskurve stattfand, um eine genügende Belastung des Herzens zu erzielen. Der langsame, wie auch der rasche Gang wurden je 5 Min. lang registriert, die Dauer der Arbeitsleistung betrug somit im ganzen 13 Min. Dieser Registrierung der Pulszeiten während der Arbeit schloss sich dann diejenige während eines zweiten Stehens (Dauer 5 Min.) sofort an, um die Wirkung des Überganges von Arbeit zur Ruhe festzuhalten. Als letzte Phase der Versuchsreihe folgte die 4 Minuten dauernde Aufzeichnung der Pulsfrequenz während des Liegens, dem eine Ruhepause von mindestens 10 Min. voranging, um vollständige Erholung der Versuchsperson zu ermöglichen.

Dank der präzise arbeitenden Tretbahn liess sich die Arbeitsleistung der Versuchsperson leicht berechnen: Die Teppichlänge der Tretbahn beträgt 226,5 cm.; bei Einstellung auf eine bestimmte langsame Geschwindigkeit dauert 1 Umlauf des Teppichs 12,3 Sek., bei der grösseren Geschwindigkeit 5 Sek. Im ersten Falle werden in 1 Min. 11,04 Meter, in 1 Stunde 0,66 km zurückgelegt, für den raschen Gang beträgt die Strecke 27,18 Meter pro Minute und 1,64 km pro Stunde.

Um die während des Marsches auf geneigter Bahn erstiegene Höhe zu messen, muss man neben der durchmessenen Wegstrecke genau den Winkel kennen, den die Bahn mit der Horizontalen bildet. Dann ist die Höhe nach einfachen geometrischen Gesetzen zu berechnen. Die pro Meter zurückgelegte Höhendifferenz x ist gleich:

$$\frac{x}{1 \text{ Meter}} = \sin \alpha,$$

Der Neigungswinkel α der Tretbahn wurde mit $16^{\circ}22'$ festgestellt. In diesem Falle ist $x = 0,282$ Meter. Die Höhendifferenz für die pro Minute zurückgelegte Wegstrecke von $11,04$ Meter beträgt in diesem Falle

$$x \cdot w_{\text{Meter}} = 0,282 \text{ Met.} \cdot 11,04 = 3,11 \text{ Meter (pro Minute).}$$

Pro Stunde ist die Höhendifferenz:

$$3,11 \text{ Meter} \cdot 60 = 186,6 \text{ Meter (pro Stunde).}$$

Die beim Gehen geleistete Arbeit auf ansteigender Bahn setzt sich aus 2 Komponenten zusammen:

- 1) der Hebung des Körpergewichtes entgegen der Schwerkraft und
- 2) der Fortbewegung auf horizontaler Bahn, der sog. Horizontal-komponente.

Durch Multiplikation der in Metern gemessenen Höhendifferenz ($x \cdot w$) mit dem in Kilogramm (kg) ausgedrückten Gewicht des Körpers wird die Grösse der Steigarbeit in Meterkilogramm (mkg), der gewöhnlichen Arbeitseinheit der Mechanik, gefunden. Als Durchschnittsgewicht der Versuchspersonen sind 70 kg angenommen worden.

$$x \cdot w \cdot \text{kg} = 0,282 \text{ Meter} \cdot 11,04 \text{ Meter} \cdot 70 \text{ kg} = 217,7 \text{ mkg (pro Minute).}$$

Die Arbeitsleistung pro Stunde beträgt:

$$217,7 \text{ mkg} \cdot 60 = 13062 \text{ mkg (pro Stunde).}$$

Da der Versuch nicht nur aus reiner Steigarbeit besteht, sondern auch eine horizontale Wegstrecke zurückgelegt wird, so muss die Arbeitsleistung für diese auch in Betracht gezogen werden.

Der horizontale Weg y , den die Versuchsperson auf der schrägen Bahn zurücklegt, lässt sich in folgender Weise berechnen:

$$\cos \alpha = \frac{y}{l}; \quad y = 0,959$$

d.h. bei Zurücklegung von 1 Meter auf der schrägen Bahn beträgt die horizontale Wegstrecke 0,959 Meter. Die horizontale Wegkomponente beträgt also für den langsamen Gang

$$0,959 \cdot 3,11 = 2,98 \text{ Meter pro Minute und}$$

$$2,98 \text{ Meter} \cdot 60 = 178,8 \text{ Meter pro Stunde.}$$

Der O_2 - Verbrauch für die horizontale Wegkomponente lässt sich nach Fleisch¹ folgendermassen berechnen:

Die Geharbeit bewirkt einen grösseren O_2 - Verbrauch als der Ruhezustand. Bei zunehmender Marschgeschwindigkeit ist die Zunahme des O_2 - Verbrauchs konstant. Als spezifischer Gehverbrauch kann somit die Differenz zwischen 2 Marschgeschwindigkeiten dividiert durch die Differenz der bei diesen Geschwindigkeiten zurückgelegten Geheinheiten bezeichnet werden, wobei unter einer Geheinheit die Fortbewegung eines Körpers von 1 kg Gewicht entlang einer horizontalen Strecke von 1 Meter zu verstehen ist.

Der O_2 - Verbrauch für eine Geheinheit ist experimentell mit

$$0,09 \text{ cm}^3 O_2 \text{ bestimmt worden.}$$

Bei einem Körpergewicht von 70 kg und einer horizontalen Wegstrecke von 2,98 Met. pro Min. beträgt der O_2 - Verbrauch somit:

1. Fleisch, A., Schweiz. Med. Wschr. Nr. 28, 1926.

$$0,09 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \cdot 70 \cdot 2,98 = 18,77 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \text{ pro Min. und}$$

$$18,77 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \cdot 60 = 1124,44 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 \text{ pro Stunde.}$$

Reine Steigarbeit weist einen grösseren O_2 - Verbrauch auf, er beträgt $1,5 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$ pro mkg.

Bei der vorliegenden Versuchsanordnung wird eine Steigarbeit von $217,7 \text{ mkg}$ pro Minute und $70 \cdot 2,98 = 208,6$ Geheinheiten geleistet. Der O_2 - Verbrauch beträgt also:

$$217,7 \cdot 1,5 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 + 208,6 \cdot 0,09 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 =$$

$$= 326,55 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 + 18,77 \text{ cm}^3 \text{ O}_2 = \underline{\underline{345,32 \text{ cm}^3 \text{ O}_2}} \text{ pro Minute.}$$

Der Energieverbrauch der angeführten Arbeitsleistung lässt sich in Grammkalorien (gr.-Kal.) ausdrücken, da der Brennwert von $1 \text{ cm}^3 \text{ O}_2$ gleich $4,85 \text{ gr.-Kal.}$ ist. Die durch die Geh- und Steigarbeit mehr produzierte Kalorienzahl beträgt somit:

$$345,32 \cdot 4,85 \text{ gr.-Kal.} = 1,675 \text{ kg - Kal. pro Minute und}$$

$$1,675 \text{ kg-Kal.} \cdot 60 = 100,5 \text{ kg-Kal. pro Stunde.}$$

Zur leichteren Übersicht sind unten in Tabellenform die berechneten Werte für die Arbeitsleistung auf der Tretbahn angegeben; die beiden ersten Kolonnen stellen die Ergebnisse für den langsamen Gang dar, die 2 letzten Kolonnen geben die Resultate für den raschen Gang an, in derselben Weise wie für den langsamen Gang berechnet.

Die Versuche wurden an 25 jugendlichen sowie an 18 alten Personen männlichen und weiblichen Geschlechts ausgeführt, in ganzen also an 44 Personen. Jede Versuchsserie umfasste, wie oben

Erhaltene Werte für die Arbeitsleistung auf der Tretbahn.				
	Langsamer Gang		Rascher Gang	
	pro Min.	pro Std.	pro Min.	pro Std.
Höhendifferenz	3,11 Met.	186,6 Met.	7,66 Met.	459,6 Met.
Steigarbeit	217,7 mkg.	13062 mkg.	536,53 mkg.	32191,8mkg
horizontaler Weg	2,98 Met.	178,8 Met.	7,46 Met.	447 Met.
O ₂ -Verbrauch f. horizont. Weg	18,77 cm ³ O ₂	1,124Lt.O ₂	47,0 cm ³ O ₂	2,82Lt.O ₂
O ₂ -Verbrauch f. reine Steigarbeit	326,55 cm ³ O ₂	19593 cm ³ O ₂	804,79 cm ³ O ₂	48,287Lt.O ₂
Gesamtverbrauch an O ₂ f. horizont. Weg + Steigarb.	345,32 cm ³ O ₂	20,719 Lt.O ₂	851,79cm ³ O ₂	51,107Lt.O ₂
Energieverbrauch	1,675 kgKal.	100,5 kgKal.	4,131 kgKal	247,86kgKal

Es wird dabei von der Größenbestimmung der Dispersion ausgegangen, die als Genauigkeitsmass der einzelnen Untersuchung dient. Unter Dispersion ist der mittlere Fehler der Versuchsreihe

Die Zurücklegung einer Höhendifferenz von 460 Met.pro Stunde stellt selbst für geübte Bergsteiger eine genügend grosse Leistung dar,so dass in diesem Versuche die Belastung des Herzens durchaus als stark bezeichnet werden darf.

Messungen bedeutet. Als Fehler wurden eingesetzt die Abweichungen der Pulszeiten von ihren arithmetischen Mittel. Für die Berechnung der Dispersion σ grösserer Versuchsreihen, wie sie hier vorliegen, wird mit Vorteil folgende abgekürzte Methode verwendet:

Die Versuche wurden an 26 jugendlichen sowie an 18 alten Personen männlichen und weiblichen Geschlechts ausgeführt, im ganzen also an 44 Personen. Jede Versuchsreihe umfasste, wie oben angeführt, 6 Phasen: Liegen, Stehen, langsamer Gang, rascher Gang, Stehen und Liegen. Jede Phase bestand aus ca 400 - 500 Pulsen, von denen je 200 Pulse analysiert wurden. Pro Person sind somit 1200 Pulse untersucht, und da das Material 44 Versuchspersonen umfasste, im ganzen 52.800 Pulse der Analyse unterzogen worden. Das experimentelle Material scheint genügend gross zu sein zur sicheren Beurteilung der gewonnenen Resultate.

Berücksichtigt wurde bei der Untersuchung:

1. die mittlere Pulszeit;
2. die Dispersion;
3. die Stärke der respiratorischen Arrhythmie und der Langwellen;
4. vorkommende Extrasystolen.

Die Art der Analyse geschah nach der Methode der qualitativen Statistik, wie sie F u e t e r¹ angibt.

Es wird dabei von der Grössenbestimmung der Dispersion ausgegangen, die als Genauigkeitsmass der einzelnen Untersuchung dient. Unter *D i s p e r s i o n* ist der mittlere Fehler der Versuchsreihe zu verstehen, es gilt in der Mathematik für sie die Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$$

wobei $\sum x^2$ die Summe der Fehlerquadrate und n die Anzahl der Messungen bedeutet. Als Fehler wurden eingesetzt die Abweichungen der Pulszeiten von ihrem arithmetischen Mittel. Für die Berechnung der Dispersion σ grösserer Versuchsreihen, wie sie hier vorliegen, wird mit Vorteil folgende abgekürzte Methode verwendet:

Es werden 200 aufeinander folgende Pulszeiten ausgemessen, sämtliche Fälle teilt man dann ihrer Grösse nach in Klassen von stets gleicher Breite w ein. Die Breite w wird entsprechend der Schwankungsgrösse zu $2/100$ bis $6/100$ Sekunden gewählt. Jede Klasse erhält eine Ordnungsnummer. Die Klasse in der Mitte, die in einer einwandfreien Statistik die grösste Anzahl von Fällen aufweist und mit M_0 bezeichnet wird, erhält die Nummer 0; den folgenden Klassen nach oben werden die Nummern +1, +2 usw. zugeteilt, die Klassen nach unten mit -1, -2 usw. bezeichnet. Die ausgezählte Anzahl der Fälle in jeder Klasse stellt die Funktion $f(x)$ dar, deren Summe n die Gesamtzahl der zu analysierenden Fälle bedeutet.

Um den Mittelwert M aller Pulszeiten zu erhalten, muss zur Klassenmitte M_0 noch ein Korrekturfaktor b hinzuaddiert werden:

$$M = M_0 + b .$$

Das Korrekturglied b berechnet sich nach der Formel

$$b = \frac{w}{n} \sum xf(x) ,$$

wobei w die Breite der Klasse und n die Gesamtzahl der Fälle darstellt. $\sum xf(x)$ wird sehr einfach durch Multiplikation jedes $f(x)$ mit seiner Nummer x erhalten, worauf die positiven und negativen Glieder für sich addiert werden.

Die Dispersion σ wird nach der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{w^2 \sum x^2 f(x)}{n} - b^2}$$

gefunden; um die $\sum x^2 f(x)$ zu erhalten, müssen die Werte von $xf(x)$ nochmals mit x multipliziert und die erhaltenen Resultate addiert werden.

2. v. der Hübl, Deutsch. Arch. f. Klin. Med. Bd. 49, S. 360. 1898.

Bei einer einwandfreien Statistik, die den Gesetzen der mathematischen Wahrscheinlichkeit entspricht, müssen $2/3$ der Fehler absolut kleiner als die Dispersion sein. Wird diese Forderung nicht eingehalten, so ist das ein Beweis für eine durch einen äusseren Faktor beeinflusste *n i c h t* einwandfreie Statistik.

In der vorliegenden Versuchsreihe ist eine den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung entsprechende Statistik nicht zu erwarten, weil nicht nur die Pulszeiten in der fehlergesetzlichen Streuung variieren, sondern auch spezifische Einflüsse wirksam sind. Diese, die Abweichung veranlassenden Faktoren sind die respiratorische Arrhythmie und die fast stets vorhandenen Langwellen. Die Langwellen lassen sich bildlich mit einem beim Schiessen auf eine Zielscheibe einsetzenden Winde vergleichen, der als äusserer Faktor einen vergrösserten Fehlerwert nach der einen bzw. anderen Richtung veranlasst, wodurch die Statistik nicht mehr fehlerfrei ist. Trotzdem ist die Dispersionsberechnung auch für diese Untersuchung angewandt werden, da sie den einzigen Massstab zum Aufschluss der Streuungsgrösse darstellt.

Frühere Untersucher, wie *M o s l e r*¹, *v o n d e r M ü h l l*² u. a. wandten zum Nachweis der Streuung die Methode der Feststellung des Unterschiedes zwischen Maximum und Minimum der Pulszeit an, oder aber sie wiesen die maximale Abweichung zweier benachbarter Pulszeiten nach. Die Dispersionsberechnung erscheint aus dem Grunde geeigneter, weil sie die Streuung *s ä m t l i c h e r* Pulszeiten und nicht nur die maximal abweichenden in Betracht zieht, da im letzten Falle nach den Gesetzen der Wahr-

1. Mosler, Z.f.klin.Med. Bd.75, S.472. 1912.

2. von der Mühl, Deutsch.Arch f.klin.Med. Bd.49, S.360. 1892.

scheinlichkeit die Differenz zwischen 2 Pulszeiten umso grösser wird, je länger die Dauer des Versuches ist.

Zur weiteren Prüfung des Materials wurde für jede Berechnung die Fehlerkurve konstruiert, die bei einwandfreier Statistik mit der G a u s s 'schen Fehlerkurve zusammenfallen muss. Die Gauss'sche Fehlerkurve ist von der Dispersion σ unabhängig und hat dank ihren konstanten Koordinaten eine ganz bestimmte Konstruktion. Zur Konstruktion der Fehlerkurven des experimentellen Materials wird für jede Ordnungsnummer x die entsprechende Abszisse und Ordinate nach den Formeln

$$X = \frac{wx - b}{\sigma} ; \quad Y = \frac{5 \cdot \sigma}{w \cdot n} \cdot f(x)$$

berechnet.

Eine Übersicht der ganzen Berechnung gibt folgende Tabelle; Abb. 7 bringt eine G a u s s 'sche Fehlerkurve mit 3 Fehlerkurven unseres Materials.

$$x_0 = 94,5$$

$$\bar{x} = \frac{w}{n} \sum x f(x) = \frac{3,59}{200} = 0,88$$

$$x = x_0 + \bar{x} = 94,5 + 0,88 = 95,38$$

$$\sigma^2 = \frac{w^2}{n} \sum x^2 f(x) - \bar{x}^2 = \frac{9 \cdot 415}{200} - 18,075 - 0,7744 = 17,9006$$

$$\sigma = 4,23$$

Klasse w = 3	x	f(x)	xf(x)	x ² f(x)	X	Y
108,0 - 110,9	5	0	0	0	+6,68	0
105,0 - 107,9	4	2	8	32	+5,26	0,14
102,0 - 104,9	3	9	27	81	+3,84	0,63
99,0 - 101,9	2	32	64	128	+2,42	2,26
96,0 - 98,9	1	38	38	38	+1,00	2,68
93,0 - 95,9	0	64	0	0	-0,42	4,51
90,0 - 92,9	-1	37	-37	37	-1,83	2,61
87,0 - 89,9	-2	14	-28	56	-3,25	0,99
84,0 - 86,9	-3	3	-9	27	-4,67	0,21
81,0 - 83,9	-4	1	-4	16	-6,09	0,07
78,0 - 80,9	-5	0	0	0	-7,51	0
Summen:		200	137 = 59	-78	415	

$$M_0 = 94,5$$

$$b = \frac{w}{n} \sum xf(x) = \frac{3 \cdot 59}{200} = 0,88$$

$$M = M_0 + b = 94,5 + 0,88 = 95,38$$

$$\sigma^2 = \frac{w^2}{n} \sum x^2 f(x) - b^2 = \frac{9 \cdot 415}{200} = 18,675 - 0,7744 = 17,9006$$

$$\sigma = \underline{\underline{4,23}}$$

Nachdem für 20 Versuchspersonen beiderlei Geschlechts und verschiedenen Alters ,nämlich 6 junge männliche und 3 junge weibliche, 7 alte männliche und 4 alte weibliche Versuchspersonen, die genaue Dispersionsberechnung durchgeführt worden war, wurde für das weitere Versuchsmaterial, das aus 24 Individuen (10 jungen männlichen und 7 jungen weiblichen, 3 alten männlichen und 4 alten weiblichen Personen) bestand, ein verkürztes Verfahren angewendet. Der Mittelwert der Pulszeiten lässt sich leicht und verhältnismässig genau optisch schätzen, zur Dispersionsbestimmung wurden die von F l e i s c h¹ aufgestellten Dispersionstabellen verwendet, in denen durch Vergleich die entsprechende Kurve zwischen 2 auf der Tafel abgebildeten Dispersionen eingeordnet wurde. Die Schätzung wurde für jede Dispersion dreimal zu verschiedenen Zeiten ausgeführt und als \bar{G} das Mittel der erhaltenen Werte festgesetzt. Bei der dreimaligen Schätzung waren die Abweichungen voneinander nur geringfügiger Natur und der Vergleich der Resultate mit den Daten der nach der Methode der qualitativen Statistik berechneten Kurven ergibt eine vollständige Übereinstimmung mit dem Charakter der letzteren. Die g e n a u e mathematische Bestimmung des Dispersionswertes hat sich an Hand des grossen Untersuchungsmaterials als unnötig erwiesen, da die Streuung schon bei der Einzelperson in weiten Grenzen variiert; es ist daher für die Erkennung von Gesetzmässigkeiten zweckmässiger, die Dispersionsgrösse weniger genau, dafür aber an einem grösseren Versuchsmaterial zu bestimmen.

1. Fleisch, A. und R. Beckmann, Z.f.d.ges.exp.Med. 1931. (Im Druck).

Langwellen I.

1. Fleisch u. Beckmann, Zeitschr. f. d. ges. experim. Med. (im Druck)

1931

R e s u l t a t e .

Die im ganzen ziemlich einheitlichen Versuchsergebnisse werden durch die Originalkurven Abb. 2 a - 2 f illustriert. Alle diese 6 Abbildungen stammen von derselben Versuchsperson und sind in den früher beschriebenen 6 verschiedenen Stadien der Arbeit aufgenommen worden. Die Abbildungen 2 a - 2 f entsprechen ungefähr dem durchschnittlichen Verhalten der Versuchspersonen. In Abb. 2 a (ruhiges Liegen) sind die Pulszeiten gross, die Minutenfrequenz ist mit 62 bestimmt, sie ist somit niedrig. Es sind sehr deutlich die respiratorische Arrhythmie, die etwa vier einzelne Pulse umfasst, ausgeprägt. Daneben sind noch langsamere Wellen, die sog. Langwellen II von der Zeitdauer von rund 25 Sek., ersichtlich. Als Langwellen wurden von A. Fleisch und R. Beckmann¹ diejenigen Schwankungen der Pulszeiten bezeichnet, die von langsamerem Charakter sind als die respiratorische Arrhythmie. Die Langwellen I haben eine Zeitdauer von ca 10 Sekunden, die Langwellen II von ca 15 - 25 Sekunden und die Langwellen III haben eine Periodenlänge von ca 1 Minute, wobei auch Übergänge zwischen diesen Periodenlängen vorkommen können.

Schon beim Übergang vom Liegen zum Stehen (Abb. 2 b) ändert sich der Charakter der Pulszeitkurve deutlich. Einmal sind die Pulszeiten in toto verkürzt, die Pulsfrequenz also grösser. Ferner ist als charakteristischer Befund die respiratorische Arrhythmie weniger stark ausgeprägt, dafür sind die Langwellen I stärker als beim Liegen. Auch die Analyse von Fleisch und Beckmann² hat ergeben, dass im Vergleich zum Liegen beim Stehen die respiratorische Arrhythmie stärker abnimmt als die Langwellen I.

1. Fleisch u. Beckmann, Zeitschr.f.d.ges.experim.Med.(im Druck) 1931

Abb. 2 c, die beim langsamen Gang aufgenommen wurde, zeigt ein weiter fortgeschrittenes Stadium der schon in Abb. 2 b vorhandenen Veränderung. Die Pulszeiten sind weiter verkürzt, die respiratorische Arrhythmie ist undeutlich geworden, und fast das ganze Schwankungsmass wird durch die Langwellen I erzeugt. Dabei hat aber das Schwankungsmass, wie schon mit blossem Auge zu beurteilen ist, gegenüber den Abbildungen 2 a und 2 b sich verkleinert.

Diese Verhältnisse sind noch ausgeprägter beim raschen Gang, Abb. 2 d, nämlich kurze Pulszeiten, schwache respiratorische Arrhythmie, schwache Langwellen I. Durch die zunehmende Belastung des Herzens werden somit folgende Veränderungen des Herzens hervorgerufen, die um so stärker ausgeprägt werden, je grösser die Kreislaufbelastung ist: Verkürzung der Pulszeit, Abnahme der Dispersion, die sowohl auf einer Verflachung der respiratorischen Arrhythmie wie auch der Langwellen I beruht.

Abb. 2 e ist im Stehen nach Arbeit aufgenommen. Die eben beschriebenen Veränderungen sind wiederum rückgängig geworden, so dass ähnliche Verhältnisse wie im Stehen vor Arbeit (Abb. 2 b) vorliegen.

Abb. 2 f endlich ist im Liegen nach der Arbeit registriert, die Pulszeitkurve ist, abgesehen von der noch erhöhten Atmungsfrequenz, ähnlich der Abb. 2 a (Liegen vor Arbeit).

Um nun das Verhalten sämtlicher Versuchspersonen überblicken zu können, wurde die Beziehung zwischen Dispersion δ und Grösse der Pulszeit für alle Versuche graphisch aufgetragen. Um ein eventuell vorhandenes verschiedenes Verhalten von alt und jung, männlich und weiblich, zu erkennen, ist das gesamte Versuchsmaterial in folgende vier Gruppen aufgeteilt worden:

1. Junge männliche Versuchspersonen,

- 2. Junge weibliche Versuchspersonen,
- 3. Alte männliche Versuchspersonen,
- 4. Alte weibliche Versuchspersonen.

Da das Material für vier Rubriken zu umfangreich ist, können nur die Resultate bei zunehmender Arbeit eingetragen werden, also Liegen, Stehen, langsamer Gang und rascher Gang. Die Weglassung der Resultate bei abnehmender Arbeit (Stehen und Liegen nach Arbeitsleistung) kann in diesen Einzeldarstellungen um so eher erfolgen, weil diese nichts Neues, sondern nur die Restitution zum ursprünglichen Zustand zeigen.

In den Abbildungen 3 a, b, c und d ist die Grösse der Pulszeit als Abszisse, die Grösse der Dispersion δ als Ordinate aufgetragen.

- bedeutet Liegen,
- ⊙ bedeutet Stehen,
- ⊗ bedeutet langsamen Gang,
- bedeutet raschen Gang.

wie die Abbildungen 3 zeigen, sind die individuellen Schwankungen der Dispersion ziemlich gross, ein Befund, der schon von Fleisch und Beckmann¹ erhoben worden ist. Trotz dieser starken individuellen Schwankungen ist aber bei fast allen jungen Versuchspersonen (Abb. 3 a männlich und Abb. 3 b weiblich) doch eine gewisse Gesetzmässigkeit vorhanden, die Kurven laufen nämlich fast ausnahmslos von rechts oben nach links unten, dabei befindet sich auf den einzelnen individuellen Kurven das Resultat im Liegen rechts oben, und die Resultate von Stehen, langsamen Gang und raschen Gang liegen sukzessive nach links unten. Ziemlich einheitlich reagieren somit fast alle jungen Versuchspersonen auf zunehmende Arbeitsleistung mit Verkürzung der Pulszeit und

1. Fleisch u. Beckmann, Zeitschr. f. d. ges. experrim. Med. 1931 (Im Druck)

Verkleinerung der Dispersion σ und diese Mittelwerte nebst dem

Ein anderes Verhalten weisen die alten Versuchspersonen (Abb. 3 c, männlich, und Abb. 3 d, weiblich) auf. Die Kurven verlaufen hier im grossen und ganzen horizontal, d.h. dass bei zunehmender Arbeitsleistung wohl die Pulszeit sinkt, die Dispersion aber konstant bleibt. In weiterem ist auffällig, dass die Dispersion bei den alten Versuchspersonen viel weniger streut und wenigstens beim Liegen und Stehen auch viel kleiner ist, als bei den jungen Personen. (et Liegen nach Arbeit). Da die Werte fast

Es erhebt sich die Frage, warum bei jugendlichen Individuen die Dispersion im Liegen sehr viel grösser ist als bei alten Leuten, und warum einzelne Jugendliche sich durch eine ganz besonders grosse Dispersion auszeichnen. F l e i s c h und U n - B e c k m a n n haben festgestellt, dass unter ihren Versuchspersonen die grössten beobachteten Dispersionen, $\sigma = 15/100$ Sek., den körperlich besonders leistungsfähigen Individuen eignet. Dieser Befund wird durch mein Material bestätigt, indem auch hier die grössten Dispersionen, d.h. über 10/100 Sek., körperlich hochtrainierten Individuen zukommt. Besonders ausgeprägt ist dabei die respiratorische Arrhythmie. Die in früheren Zeiten häufig ausgesprochene Verdächtigung einer starken respiratorischen Arrhythmie als Ausdruck eines pathologischen Herzens dürfte auf Grund anderer (W e n c k e b a c h¹, P o n g s²) und auch dieser Befunde heute wohl als erledigt betrachtet werden.

Um die allgemeine Gesetzmässigkeit zwischen Arbeitsintensität, Pulszeit und Schwankungsmass feststellen zu können, wurden für jeden Arbeitsgrad die Mittelwerte berechnet. Diese sind in Abbildung 4 für die vier verschiedenen Gruppen getrennt aufge-

1. Wenckebach u. Winterberg, Die unregelmässige Herztätigkeit, S. 113, Leipzig, Verl. Engelmann, 1927.
2. Pongs, Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, S. 137 Berlin, 1923.

tragen und in Tabelle I (S.27) sind diese Mittelwerte nebst den zugehörigen mittleren Fehlern $\pm m$ zusammengestellt. Der mittlere Fehler $\pm m$ berechnet sich aus der Formel $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, wobei σ die Streuung der Einzelwerte und n die Zahl der Versuche bedeutet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,68 fällt der wahre Mittelwert innerhalb der Grenzen dieser Werte. Aus Abb. 4 geht hervor, dass die Mittelwerte bei ansteigender Arbeit ziemlich genau mit den Mittelwerten bei abnehmender Arbeit übereinstimmen (● bedeutet Stehen nach Arbeit, ○ bedeutet Liegen nach Arbeit). Da die Werte fast immer innerhalb des mittleren Fehlers $\pm m$ fallen, kann auf eine Verschiedenheit bei ansteigender und abnehmender Arbeit nicht geschlossen werden, sondern die kleinen vorhandenen Unterschiede sind als zufällig zu bewerten. Es ist auch kein wirklicher Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Personen des gleichen Alters vorhanden, weil die Differenz der Mittelwerte meistens kleiner ist als der mittlere Fehler $\pm m$. Wir stellen somit fest, dass bei den jungen Versuchspersonen ein differentes Verhalten infolge des Geschlechtsunterschiedes nicht vorhanden ist. Desgleichen reagieren alle alten Versuchspersonen ebenfalls unabhängig vom Geschlecht einheitlich. Hingegen ist ein klarer und prägnanter Unterschied vorhanden zwischen den jungen und den alten Versuchspersonen. Bei den jungen Individuen verkleinert zunehmende Arbeit sowohl die Pulszeit als auch die Dispersion, währenddem bei den alten Leuten die Dispersion konstant ist.

Die absolute Grösse der Dispersion ist aus der Abb. 4 und aus der Tabelle I ersichtlich. Bei den jungen Versuchspersonen beträgt sie beim Liegen ca 6/100 Sek. und sinkt beim raschen Gang auf rund 2,8/100 Sek. Bei den alten Versuchspersonen ist die Dispersion schon im Liegen mit rund 2,6/100 Sek. klein, und sie bleibt auch bei erhöhter Arbeitsleistung annähernd auf diesem

	J u n g . f e s t , d a s s a u c h A l t .							
	männlich		weiblich		männlich		weiblich	
	M	± m	M	± m	M	± m	M	± m
Liegen	5,65	0,52	7,99	1,29	2,44	0,26	2,7	0,26
Stehen	3,74	0,34	4,13	0,58	2,13	0,2	3,07	0,36
langs. G.	3,55	0,38	3,14	0,17	2,38	0,19	3,33	0,16
rasch. G.	2,82	0,34	2,67	0,21	2,56	0,23	3,11	0,37
Stehen	3,42	0,34	3,83	0,27	2,65	0,14	2,84	0,33
Liegen	5,9	0,45	5,95	0,66	2,84	0,32	3,67	0,46

T a b e l l e I .

M entspricht dem Mittelwert der Dispersion 6 in 1/100 Sek.

m = mittlerer Fehler des Mittelwertes ebenfalls in 1/100 Sek.

wurde. Alle Resultate im Liegen, wie auch alle Resultate im Stehen gruppieren sich bei P l e i s c h und B e c k m a n n von rechts oben nach links unten entsprechend einem bestimmten Richtungsstrahl 6, der auch von rechts oben nach links unten verläuft. Auch die Verbindungslinien zwischen Liegen und Stehen der Einzelpersonen haben dieselbe Richtung von rechts oben nach links unten wie der Richtungsstrahl 6. Würde das Stehen an und für sich (unabhängig von der Verkürzung der Pulszeit) die Dispersion beeinflussen, z.B. verkleinern, so müssten die Verbindungslinien

I. Pleisch u. Beckmann, Zeitschr. f. d. ges. experim. Med. 1931 (Im Druck)

Niveau. Wir stellen somit fest, dass auch bei Arbeitsleistung und sehr hoher Pulsfrequenz (über 120 Pulse pro Min.) die Dispersion im Mittel nicht unter 2,5/100 Sek. heruntergeht.

Mit der Feststellung, dass bei zunehmender Arbeitsleistung die Dispersion klein wird, ist noch nicht ausgesagt, welcher Faktor diese Verkleinerung der Dispersion bewirkt. Es könnte nämlich sowohl die Arbeitsleistung an sich die Dispersion verkleinern, oder aber die Verkürzung der Pulszeit infolge der Arbeitsleistung könnte die Ursache der Verkleinerung der Dispersion sein. Diese Frage wurde von Fleisch und Beckmann¹ für den Übergang vom Liegen zum Stehen schon eingehend untersucht mit dem Resultat, dass nicht das Stehen an sich, sondern lediglich die Verkürzung der Pulszeit ursächlich ist. Bei der Interpretation unseres Materials in bezug auf diese Frage folgen wir der Argumentation der genannten Autoren. Nach ihnen ist diese Frage durch graphische Aufzeichnung der Durchschnittsergebnisse der Versuchspersonen entscheidbar. Die Aufzeichnung der Einzelresultate erfolgte in derselben Weise wie sie in den oben beschriebenen Abbildungen 3 ausgeführt worden ist, in denen als Abszisse die Pulszeiten, als Ordinate die zugehörige Dispersion δ aufgetragen wurde. Alle Resultate im Liegen, wie auch alle Resultate im Stehen gruppieren sich bei Fleisch und Beckmann von rechts oben nach links unten entsprechend einem bestimmten Richtungsstrahl δ , der auch von rechts oben nach links unten verläuft. Auch die Verbindungslinien zwischen Liegen und Stehen der Einzelpersonen haben dieselbe Richtung von rechts oben nach links unten wie der Richtungsstrahl δ . Würde das Stehen an und für sich (unabhängig von der Verkürzung der Pulszeit) die Dispersion beeinflussen, z.B. verkleinern, so müssten die Verbindungslinien

1. Fleisch u. Beckmann, Zeitschr. f. d. ges. experim. Med. 1931 (Im Druck)

der einzelnen Personen steiler nach links abfallen, als der Richtungsstrahl σ es tut. Fleisch und Beckmann folgen daraus, dass das Stehen an sich nichts an der Grösse der Dispersion ändert, die Dispersion wird beim Übergang vom Liegen zum Stehen nur wegen der verkürzten Pulszeit geringer.

Nachdem dieses Resultat festgestellt ist, kann nun die Beziehung zwischen Dispersion und Pulszeit auch in unserem Material endgültig festgelegt werden, wie es in Abb. 5 ausgeführt worden ist. Bei Konstruktion der σ -Kurve für jugendliche Personen wurde keine Rücksicht genommen auf den Arbeitszustand. Es wurde folgendermassen verfahren: Aus sämtlichen Pulszeiten, die zwischen 35/100 Sek. und 50/100 Sek. gelegen sind, wurde das Mittel berechnet, das die Abszisse des unteren Punktes ergibt. Aus allen Dispersionen, die zu den Pulszeiten dieser Rubrik gehören, wird das Mittel berechnet, das die Ordinate des untersten Punktes darstellt. In gleicher Weise wird für die folgenden Rubriken, Pulszeiten 50/100 Sek. - 65/100 Sek., dann Pulszeiten 65/100 Sek. - 80/100 Sek., dann 80/100 Sek. - 95/100 Sek. und schliesslich Pulszeiten über 95/100 Sek, verfahren. Die σ -Kurve von Abb. 5 gibt somit unbekümmert um die Arbeitsintensität die durchschnittliche Beziehung zwischen der Dispersion σ und der Grösse der Pulszeit PZ. Da der letzte Punkt der Kurve rechts oben sich nur auf wenig stark streuende Fälle gründet, kann auf ihn nicht viel Gewicht gelegt werden. Der übrige Verlauf der Kurve hingegen ist als Mittel aus sehr grossen Versuchsreihen gesichert. Zwischen Pulszeit 70/100 - 80/100 Sek. ist die Abnahme der Dispersion am stärksten, nämlich 1,59/100 Sek. bei einer Abnahme der Pulszeit um 10/100 Sek. Dieser Wert stimmt gut überein mit dem Befund von Fleisch und Beckmann, wonach bei einer Abnahme der mittleren Pulszeit um 10/100 Sek. die Dispersion um 1,69/100 Sek.

stungsfähigkeit, so dass mit Wahrscheinlichkeit der Schluss ge-
 verkleinert wird. Nach links hin, d.h. bei kleineren Pulszeiten,
 zogen werden kann, dass eine Pulsstarre an einem nicht fiebern-
 wird die Abnahme der Dispersion viel kleiner. Bei der Verkürzung
 den auf eine geringe Reservekraft des Herzens hindeutet. Der um-
 der Pulszeit von 55/100 Sek. auf 45/100 Sek. senkt sich die Dis-
 gekehrte Schluss hingegen, dass eine grosse Dispersion mit einer
 dispersion nur noch um 0,15/100 Sek. Durch Extrapolation der Kurve
 grossen Reservekraft identisch sei, kann nicht gezogen werden;
 6 nach links kann geschlossen werden, dass die Dispersion von
 Fleisch und Beckmann betrachten eine Dispersion
 2,5/100 Sek. auch bei kürzester Pulszeit nicht erreicht wird.

Diese Beziehungen zwischen Dispersion und Pulszeit gilt,
 das muss betont werden, nur für jugendliche Individuen. Bei den
 in Tabelle IV ist die Häufigkeit der abnorm kleinen Disper-
 alten Leuten ist diese Abhängigkeit nicht vorhanden, sondern im
 sionen zusammengestellt, getrennt nach jungen und alten Versuchs-
 Alter ist die Dispersion mit ca 3,0/100 Sek. konstant und unab-
 hängig von der Pulszeit. Da die alten Versuchspersonen ein Alter von 45 bis 82
 Jahren hatten, kommen als kreislaufgesunde nur die jungen Perso-

Nähere Betrachtung verdient die untere Grenze der beobachte-
 nen in Frage. Beim Liegen kommt unter 50 Fällen nicht ein einziger
 ten Dispersion. Schon von früheren Beobachtern, wie Janow-
 ges ist eine Dispersion unter 2,5/100 sek. vor, so dass der Be-
 sk i¹, Mosler², Funke³ und Pongs⁴ wurde festge-
 stellt, dass die Schwankungen der Pulszeiten in pathologischen
 rial bestätigt wird. Unter 50 Fällen im Stehen ist 3 Mal die Dis-
 Zuständen klein werden können, nämlich bei Dekompensationsstörun-
 person zwischen 2,0/100 und 2,5/100 Sek. und 5 Mal unter 2,0/100
 gen des Herzens, Basedow, Hypertension, Myocardschädigungen und
 Sek. gelegen, und auch beim langsamen Gang haben nur 84 der Fälle
 Fieber. Kraus, Goldschmidt und Seelig⁵
 eine Dispersion unter 2,5/100 Sek. Erst beim raschen Gang mit der
 sprechen bei kleinen Schwankungen der Pulszeiten von einem "star-
 ren" Puls. Durch Berechnung der Dispersion haben Fleisch
 zonen Pulsfrequenz sinkt die Dispersion in 1/4 der Fälle unter
 2,5/100 Sek. Bei der erhöhten Pulsfrequenz des Stehens, und na-
 und Beckmann⁶ einen quantitativen Massstab eingeführt,
 mentlich des Gehens, kommen also auch beim Gesunden Dispersionen
 um die Stärke der Dispersion zahlenmässig anführen zu können.
 vor, die unterhalb der kritischen Grenze von 2,5/100 Sek. gelegen
 Sie finden eine Pulsstarre bei Myocarditis, Herzinsuffizienz, im
 sind. Eine scharfe Grenze zwischen normaler und pathologisch klei-
 Fieber und bei Personen mit auffällig geringer körperlicher Lei-
 ner Dispersion lässt sich somit nicht ziehen. Jede Grenze, die

1. Janowski, Deutsch.Arch.f.klin.Med., Bd.91, H.3/4, 1907
2. Mosler, Zeitschr.f.klin.Med., Bd.75, S.472, 1912
3. Funke, Verhandl.d.Kongr.f.Inn.Med., S.465, 1909 u.S.396 1914
5. Kraus, Goldschmidt u.Seelig, Zeitschr.f.d.ges.exp.Med., Bd.53, S.243, 1926
4. Pongs, A. Der Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, Berlin, Verl.Springer, 1923
6. Fleisch u.Beckmann, Zeitschr.f.d.ges.exp.Med.1931 (Im Druck)

stungsfähigkeit, so dass mit Wahrscheinlichkeit der Schluss gezogen werden kann, dass eine Pulsstarre an einem nicht Fiebernden auf eine geringe Reservekraft des Herzens hindeutet. Der umgekehrte Schluss hingegen, dass eine grosse Dispersion mit einer grossen Reservekraft identisch sei, kann nicht gezogen werden;

F l e i s c h und B e c k m a n n betrachten eine Dispersion bei ruhigem Liegen unter $2,5/100$ Sek. auch bei erhöhter Herzfrequenz meistens als pathologisch.

(S. 32)
In Tabelle II ist die Häufigkeit der abnorm kleinen Dispersionen zusammengestellt, getrennt nach jungen und alten Versuchspersonen. Da die alten Versuchspersonen ein Alter von 45 bis 82 Jahren hatten, kommen als kreislaufgesunde nur die jungen Personen in Frage. Beim Liegen kommt unter 50 Fällen nicht ein einziges Mal eine Dispersion unter $2,5/100$ sek. vor, so dass der Befund von F l e i s c h und B e c k m a n n durch mein Material bestätigt wird. Unter 50 Fällen im Stehen ist 3 Mal die Dispersion zwischen $2,0/100$ und $2,5/100$ Sek. und 5 Mal unter $2,0/100$ Sek. gelegen, und auch beim langsamen Gang haben nur 8% der Fälle eine Dispersion unter $2,5/100$ Sek. Erst beim raschen Gang mit der hohen Pulsfrequenz sinkt die Dispersion in $1/4$ der Fälle unter $2,5/100$ Sek. Bei der erhöhten Pulsfrequenz des Stehens, und namentlich des Gehens, kommen also auch beim Gesunden Dispersionen vor, die unterhalb der kritischen Grenze von $2,5/100$ Sek. gelegen sind. Eine scharfe Grenze zwischen normaler und pathologisch kleiner Dispersion lässt sich somit nicht ziehen. Jede Grenze, die wir zwischen normal und pathologisch ziehen, sagt nur aus, dass eine darunter liegende Dispersion mit einem gewissen Grade der Wahrscheinlichkeit als pathologisch zu betrachten sei. Bei Angabe dieser Grenzen haben wir weiter die Abhängigkeit der Dispersion von der Länge der Pulszeit zu berücksichtigen; so ist eine Dis-

persien von z.B. 2,5/100 Sek. ganz anders zu bewerten bei einer Pulszeit von 0,5 Sek. als bei einer Pulszeit von 1,0 Sek. Aus diesem Grunde wurde zu der Kurve der durchschnittlichen

Liegen				Stehen			Langs. G.			Rasch. G.		
	Total = 50			Total = 50			Total = 25			Total = 23		
	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%
Jun- ge	2-2,5	0	0	2-2,5	3	6	2-2,5	1	4	2-2,5	3	13
Pers.	sub 2	0	0	sub 2	5	10	sub 2	1	4	sub 2	3	13
Liegen				Stehen			Langs. G.			Rasch. G.		
	Total = 21			Total = 21			Total = 10			Total = 9		
Alte	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%	6	Fäl- le	%
Pers.	2-2,5	5	24	2-2,5	6	28	2-2,5	1	10	2-2,5	1	11
	sub 2	3	14	sub 2	3	14	sub 2	1	10	sub 2	1	11

Tabelle II.

gelegten sein bei einem Mittelwert von 2,75/100 Sek. Bei einer Pulszeit von 85/100 Sek. hingegen (Minutenfrequenz = 70,6) liegen 2/3 aller Dispersionen innerhalb 7,85/100 Sek. und 4,95/100 Sek. bei einem Mittelwert von 6,35/100 Sek. An Hand dieser Grenzkurven von Abb. 5 lässt sich somit von jeder Dispersion leicht feststellen, ob sie innerhalb des Normalbereiches liegt oder nicht. Da eine zu grosse Dispersion, wie F l e i s c h und B e c k m a n n¹ und ich selbst festgestellt haben, keine pathognostische Bedeutung hat, sind sie ohne weiteres Interesse. Anders steht es hingegen mit den zu kleinen Dispersionen, die unterhalb von der Kurve (-6) fallen. Da mindestens 2/3 aller Fälle zwischen den beiden Kurven (+6) und (-6) liegen müssen, so liegt

L. Fleisch und Beckmann, Zeitschr.f.d.ges.exp.Med.1931,(in Druck),

persion von z.B. 2,5/100 Sek. ganz anders zu bewerten bei einer Pulszeit von 0,5 Sek. als bei einer Pulszeit von 1,0 Sek. Aus diesem Grunde wurde zu der Kurve der durchschnittlichen Dispersionen (Abb. 5) zu jedem Punkt von allen Fällen der zugehörigen Rubrik diejenigen 2/3 aller Fälle bestimmt, die am nächsten zum Mittelwertspunkt liegen. Der Grenzbereich zu jedem Mittelwertspunkte wurde in der Weise fixiert, dass die grösste Dispersion, die in diesen 2/3 der Fälle für die entsprechende Rubrik auftritt, abgetragen wurde und als Kurve (+ 6) bezeichnet. In gleicher Weise wurden die entsprechend kleinsten Dispersionen festgelegt, sie sind aus der Kurve (- 6) ersichtlich. Nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit liegen 2/3 aller Fälle bei normalen Individuen innerhalb dieser beiden Grenzkurven (+ 6) und (- 6). Für jede Pulszeit können wir somit aus der Abb. 5 ablesen, wie gross die wahrscheinliche Dispersion ist. Bei einer Pulszeit von 45/100 Sek. (Minutenfrequenz = 133) z.B. müssen 2/3 aller normaler Dispersionen zwischen 3,5/100 Sek. und 2,3/100 Sek. gelegen sein bei einem Mittelwert von 2,75/100 Sek. Bei einer Pulszeit von 85/100 Sek. hingegen (Minutenfrequenz = 70,6) liegen 2/3 aller Dispersionen innerhalb 7,85/100 Sek. und 4,95/100 Sek. bei einem Mittelwert von 6,35/100 Sek. An Hand dieser Grenzkurven von Abb. 5 lässt sich somit von jeder Dispersion leicht feststellen, ob sie innerhalb des Normalbereiches liegt oder nicht. Da eine zu grosse Dispersion, wie Fleisch und Beckmann¹ und ich selbst festgestellt haben, keine pathognostische Bedeutung hat, sind sie ohne weiteres Interesse. Anders steht es hingegen mit den zu kleinen Dispersionen, die unterhalb von der Kurve(- 6) fallen. Da mindestens 2/3 aller Fälle zwischen den beiden Kurven (+ 6) und (- 6) liegen müssen, so liegt

1. Fleisch und Beckmann, Zeitschr.f.d.ges.exp.Med.1931,(Im Druck).

nur $1/3$ aller Fälle ausserhalb dieser Kurve, und zwar die Hälfte davon, d.h. $1/6$ der Fälle, oberhalb der Kurve (+ σ) und $1/6$ der Fälle unterhalb der Kurve (- σ). Bei normalen jugendlichen Versuchspersonen ist somit die Wahrscheinlichkeit nur $1/6$, dass eine Dispersion gefunden wird, die kleiner ist, als die Kurve (- σ) angibt. Da bei pathologischen Fällen, wie bei Myocarditis, ^{Herz} (Insuffizienz, verminderte Reservekraft, ^{des Herzens} Fieber, die Dispersionen meistens wesentlich kleiner sind als dem normalen Streuungsbereich der Abb. 5 entspricht, so ist es sicher, dass diese starren Pulskurven noch eine andere Genese haben müssen, als nur die Pulsbeschleunigung. ^{alten Individuen stärker als beim Liegen, bei} ^{weitere} Aus Abb. 5 ist ferner klar ersichtlich, dass die Streuungsgrösse der Dispersion abhängig ist von der Pulszeit. Bei grossen Pulszeiten streuen die Dispersionen sehr stark, indem der Abstand der Kurven (+ σ) und (- σ) sehr gross ist. Bei den kleinen Pulszeiten hingegen ist eine viel geringere Streuung vorhanden. ^{sich} In weiterem wurde untersucht durch welchen Faktor die Verkleinerung der Dispersion verursacht wird, also ob die respiratorische Arrhythmie oder die Langwellen sich abschwächen. Zu diesem Zwecke wurde die berechnete Dispersion zerlegt in ihre beiden Summanden, respiratorische Arrhythmie und Langwellen, ^{schied} was durch quantitative Schätzung geschah. Aus allen Einzelversuchen derselben Arbeitsintensität wurde darauf der Mittelwert berechnet und alle diese Mittelwerte sind in Abb. 6, für alt und jung getrennt, zusammengestellt. Bei den jungen Versuchspersonen ist im Liegen nur ein leichtes Übergewicht der Langwellen über der Stärke der respiratorischen Arrhythmie vorhanden. Beim Übergang zum Stehen verringert sich die respiratorische Arrhythmie stärker als die Langwellen, ein Befund, den wir früher schon erhoben haben und der auch mit den Beobachtungen von F l e i s c h

und B e c k m a n n übereinstimmt. Bei weiterer Verkürzung der Pulszeiten reduzieren sich dann beide Faktoren ungefähr parallel, so dass bei der kürzesten Pulszeit die Langwellen ungefähr einen doppelt so starken Einfluss auf die Dispersion haben, wie die respiratorische Arrhythmie.

Einen charakteristischen Unterschied zu dem eben genannten Verhalten der jungen Personen zeigen die alten Individuen. Die respiratorische Arrhythmie ist viel schwächer als bei den jungen Versuchspersonen ausgeprägt und zudem ist sie praktisch völlig unabhängig von der Grösse der Pulszeit. Beim Stehen sind die Langwellen bei alten Individuen stärker als beim Liegen, bei weiterer Pulszeitverkürzung durch Arbeit werden sie ebenfalls schwächer. Die geschilderten Verhältnisse sind unabhängig davon, ob die Arbeitsintensität zunimmt (Pfeil nach links) oder abnimmt (Pfeil nach rechts). Der Grad der Arbeitsintensität bzw. der Pulszeitverkürzung ist massgebend, und es macht sich kein Unterschied geltend, ob ein Arbeitszustand erreicht wurde von Ruhe- oder von grösserer Arbeit aus. Einzig und allein beim Liegen nach Arbeit ist die respiratorische Arrhythmie bei alten Leuten etwas grösser.

Auf Grund dieser Abb. 6 wird nun der essentielle Unterschied von Pulszeitkurven von alten und jungen Individuen klar. Die Abnahme der Dispersion im Alter beruht in erster Linie auf einer Verkleinerung der respiratorischen Arrhythmie und erst in viel geringerem Masse auf einer Verkleinerung der Langwellen. Die starke respiratorische Arrhythmie ist das Kennzeichen des jugendlichen leistungsfähigen Herzens.

G a u s s ' s c h e F e h l e r k u r v e .

K r a u s , G o l d s c h m i d t u n d S e e l i g ¹ behaupten, dass beim normalen Puls ein Doppeltakt bestehe, dem ein Alternieren der Pulsfrequenz nach 2 Grundzahlen zu Grunde liege. Ferner glaubten sie, dass gewisse Pulsfrequenzen gegenüber anderer vorherrschen, und diese vorzüglichen Pulsfrequenzen sollen sich ähnlich wie die harmonischen Töne der Musik verhalten. Durch F l e i s c h u n d B e c k m a n n sind diese Behauptungen von K r a u s und Mitarbeitern durch Konstruktion der Gauss'schen Fehlerkurve widerlegt worden. Zur endgültigen Sicherung dieses Punktes wurde auch das vorliegende Material in gleicher Weise durchgearbeitet; es wurden im ganzen 120 Gauss'sche Kurven konstruiert, aber nur in 13 Fällen konnte eine in einigen Fällen nur angedeutete Zweigipfligkeit der Fehlerkurve beobachtet werden. Die auffälligste dieser Kurven ist in Abb. 7c abgebildet. Doch auch diesen zweigipfligen Kurven liegt ein Doppeltakt nach Kraus nicht zugrunde. Viermal ist die Ursache ein Niveauwechsel der Pulszeitkurve, indem z.B. während der ersten 2 Minuten die "registrierung der mittleren Pulszeit um 70/100 Sek. schwankt, und in den späteren 2 Minuten um 80/100 Sek. herum. In drei Fällen ist eine starke respiratorische Arrhythmie die Ursache der Zweigipfligkeit, indem während der Inspirationen die Pulszeiten meistens unter und während der Expirationen über dem Mittelwert liegen. In sechs weiteren Fällen ist die Zweigipfligkeit bedingt durch sehr starke Langwellen, aber auch hier handelt es sich nicht um einen Doppeltakt, indem entsprechend einer Wellenbewegung alle Übergänge zwischen Minimum und Maximum vorhanden sind.

1. Kraus, Goldschmidt u. Seelig, Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. Bd. 53 S. 249, 1926.

In Abb. 7 ist die korrekte Gauss'sche Fehlerkurve G abgebildet nebst einer Fehlerkurve a, die gut mit der Gauss'schen Kurve übereinstimmt und in fast 1/3 der Fälle beobachtet worden ist. Abb. 7 b gibt die Kurve wieder, die nach den Daten auf S. 20 konstruiert worden ist; dieser unsymmetrische Typus tritt ebenso wie die gut mit der Gauss'schen harmonisierende Kurve häufig auf. Die Entstehung solcher Asymmetrie lässt sich durch das Auftreten einer starken Welle mit Vergrösserung oder Verkleinerung der Pulszeiten erklären, oder durch denjenigen Typus der respiratorischen Arrhythmie, bei dem während der Inspiration mehrere gleich kurze Pulszeiten und in der Expiration bloss 1 - 2 lange Pulszeiten auftreten. Abb. 7 c repräsentiert eine zweigipflige Kurve, die, wie schon oben erwähnt, den K r a u s'schen Doppeltakt nicht darstellt, sondern vortäuscht.

N e b e n b e f u n d e .

Zum Schluss seien noch einige interessante Nebenbefunde mitgeteilt. Bei zwei alten Arteriosklerotikern, von denen der eine 73 Jahre und der andere 82 Jahre alt war, treten in der Ruhe regelmässige langsame Schwankungen der Pulsfrequenz auf. In Abb. 8 haben diese Wellen eine durchschnittliche Dauer von 12 Sek.; da die Dauer einer Respiration (Inspiration + Expiration) 3 Sek. beträgt, wie die gleichzeitig in der Linie SL mitregistrierte Atmung zeigt, so handelt es sich nicht um eine respiratorische Arrhythmie, sondern diese Wellen haben die Zeitdauer der Langwellen I. Gegenüber der an den gesunden Versuchspersonen gefundenen Langwellen I sind sie aber wesentlich verschieden 1) wegen der grossen Intensität und 2) wegen ihrer auffallenden Regelmässigkeit. Bei E von Abb. 8 tritt eine vereinzelte Extrasystole auf.

Die verkürzte Ordinate entspricht der zu früh eintretenden Extrasystole, und die nachfolgende kompensatorische Pause erzeugt den grossen Ordinatenausschlag. Ähnliche Befunde von Sinus-schwankungen sind schon von P o n g s¹ und W e n c k e b a c h und W i n t e r b e r g² bei Arteriosklerotikern behoben worden, und auch unsere beiden Fälle stammen von alten Arteriosklerotikern. In beiden beobachteten Fällen sind diese arteriosklerotischen Sinuswellen nur im Liegen, und zum Teil noch im Stehen, vorhanden, beim Gehen hingegen verschwinden sie. 1/100 Sekunde.

Erwähnenswert ist ferner, dass bei unserem Material Extrasystolen recht häufig aufgetreten sind. Bei den jungen Versuchspersonen sind im Liegen und im Stehen Extrasystolen allerdings sehr selten, aber bei Arbeitsleistung bekommt mehr als die Hälfte gelegentlich Extrasystolen, die hauptsächlich ventrikulären Ursprungs sind. Von den alten Versuchspersonen hat ungefähr die Hälfte schon im Liegen und Stehen Extrasystolen und bei Arbeitsleistung fast alle. Die ventrikulären Extrasystolen überwiegen auch hier, doch kamen auch Vorhof-Extrasystolen zur Beobachtung.

nen Gang, ○ = ◉ beim raschen Gang. Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.

1. Pongs, Der Einfluss tiefer Atmung auf den Herzrhythmus, Berlin, Springer, 1923
2. Wenckebach u. Winterberg, Die unregelmässige Herzstätigkeit, S.114, Leipzig, 1927.

Abb. 3c. Alte männliche Versuchspersonen.

Abb. 3d. Alte weibliche Versuchspersonen.

Abb. 4. Mittelwertstabelle der Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate) für junge männliche, junge weibliche, alte männliche, alte weibliche Versuchspersonen. — = junge männliche Versuchspersonen; — = junge weibliche Versuchspersonen; — = alte männliche

Versuchspersonen: — = alle weibliche Versuchspersonen.
U n t e r s c h r i f t u n g .
=====

- Abb. 1. Pulszeitschreiber.
- Abb. 2a - Normale Pulszeitkurven derselben Versuchsperson. Die
- 2f. Dauer der Pulszeit entspricht der Höhe jeder senkrechten Linie, gemessen von NL aus. Inspiration wird durch den Ausschlag der Signallinie SL nach unten angegeben, Expiration durch den Ausschlag nach oben. Zeitmarken $t = 6$ Sek.; 1 mm Ordinate entspricht 1/100 Sekunde.
- Abb. 2a. Pulszeitkurve im Liegen.
- Abb. 2b. Pulszeitkurve im Stehen.
- Abb. 2c. Pulszeitkurve beim langsamen Gang.
- Abb. 2d. Pulszeitkurve beim raschen Gang.
- Abb. 2e. Pulszeitkurve beim Stehen nach Arbeitsleistung.
- Abb. 2f. Pulszeitkurve im Liegen nach Arbeitsleistung.
- Abb. 3a - Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und
- 3d. Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate).
—○— = σ im Liegen, ○ = σ im Stehen, ○ = σ beim langsamen Gang, ○ = σ beim raschen Gang. Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.
- Abb. 3a. Junge männliche Versuchspersonen.
- Abb. 3b. Junge weibliche Versuchspersonen.
- Abb. 3c. Alte männliche Versuchspersonen.
- Abb. 3d. Alte weibliche Versuchspersonen.
- Abb. 4. Mittelwertstabelle der Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate) für junge männliche, junge weibliche, alte männliche, alte weibliche Versuchspersonen. — = junge männliche Versuchspersonen; — = junge weibliche Versuchspersonen; — = alte männliche

Versuchspersonen; — = alte weibliche Versuchspersonen.
○ = σ im Liegen, ○ = σ im Stehen, ○ = σ beim langsamen Gang, ○ = σ beim raschen Gang, ● = σ im Stehen nach Arbeitsleistung, ● = σ im Liegen nach Arbeitsleistung.

Abb. 5. σ -Kurve von sämtlichen jungen Versuchspersonen. Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate) unabhängig vom Arbeitsgrad. + σ und - σ geben die Grenzen des Streubereiches für 2/3 aller Fälle an.

Abb. 6. Verhalten der respiratorischen Arrhythmie und der Langwellen. ○ = im Liegen, ○ = im Stehen, ○ = beim langsamen Gang, ○ = beim raschen Gang, ● = im Stehen nach Arbeitsleistung, ● = im Liegen nach Arbeitsleistung.
— = respiratorische Arrhythmie, — = Langwellen. Pfeil nach rechts = zunehmende Arbeit, Pfeil nach links = abnehmende Arbeit.

Abb. 7. Beispiel verschiedenartiger Fehlerkurven der Pulszeiten. Die Abszisse stellt die Abweichung der Pulszeiten vom arithmetischen Mittel M dar, die Ordinate bezeichnet die Häufigkeit der Fälle. G = korrekte Gauss'sche Fehlerkurve, a = gut mit der Gauss'schen übereinstimmende Fehlerkurve, b = asymmetrische Fehlerkurve, c = eine den Doppelrhythmus des Pulses vortäuschende Fehlerkurve.

Abb. 8. Sinusarrhythmie bei einer 82-jährigen männlichen Versuchsperson, im Liegen aufgenommen. Reduktion 1 : 2 (1 mm Ordinate = 2/100 Sek.). Bei E ventrikuläre Extrasystole.

Ein Verschriftung.

Abb. 2 A - 2 J. Normale Pulszeitkurven derselben Versuchsperson.

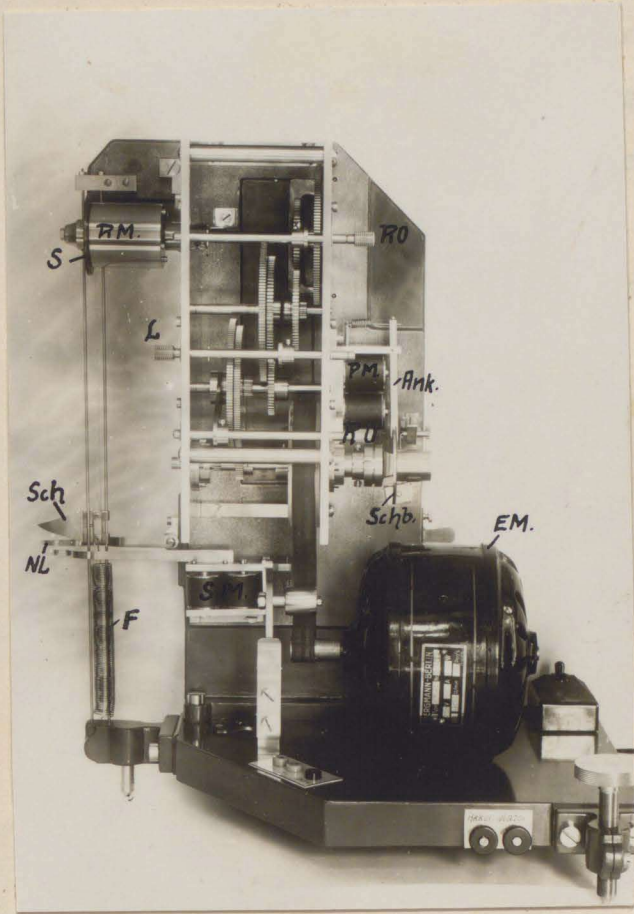


Abb. 1.

Pulszeitschreiber.

U n t e r s c h r i f t u n g .

=====

Abb. 2 a - 2 f. Normale Pulszeitkurven derselben Versuchsperson.
Die Dauer der Pulszeit entspricht der Höhe jeder senkrechten Linie, gemessen von NL aus. Inspiration wird durch den Ausschlag der Signallinie SL nach unten angegeben, Expiration durch den Ausschlag nach oben. Zeitmarken $t = 6$ Sek.
1 mm Ordinate entspricht $1/100$ Sekunde.

- Abb. 2 a. Pulszeitkurve im Liegen.
Abb. 2 b. Pulszeitkurve im Stehen.
Abb. 2 c. Pulszeitkurve beim langsamen Gang.
Abb. 2 d. Pulszeitkurve beim raschen Gang.
Abb. 2 e. Pulszeitkurve im Stehen nach Arbeitsleistung.
Abb. 2 f. Pulszeitkurve im Liegen nach Arbeitsleistung.

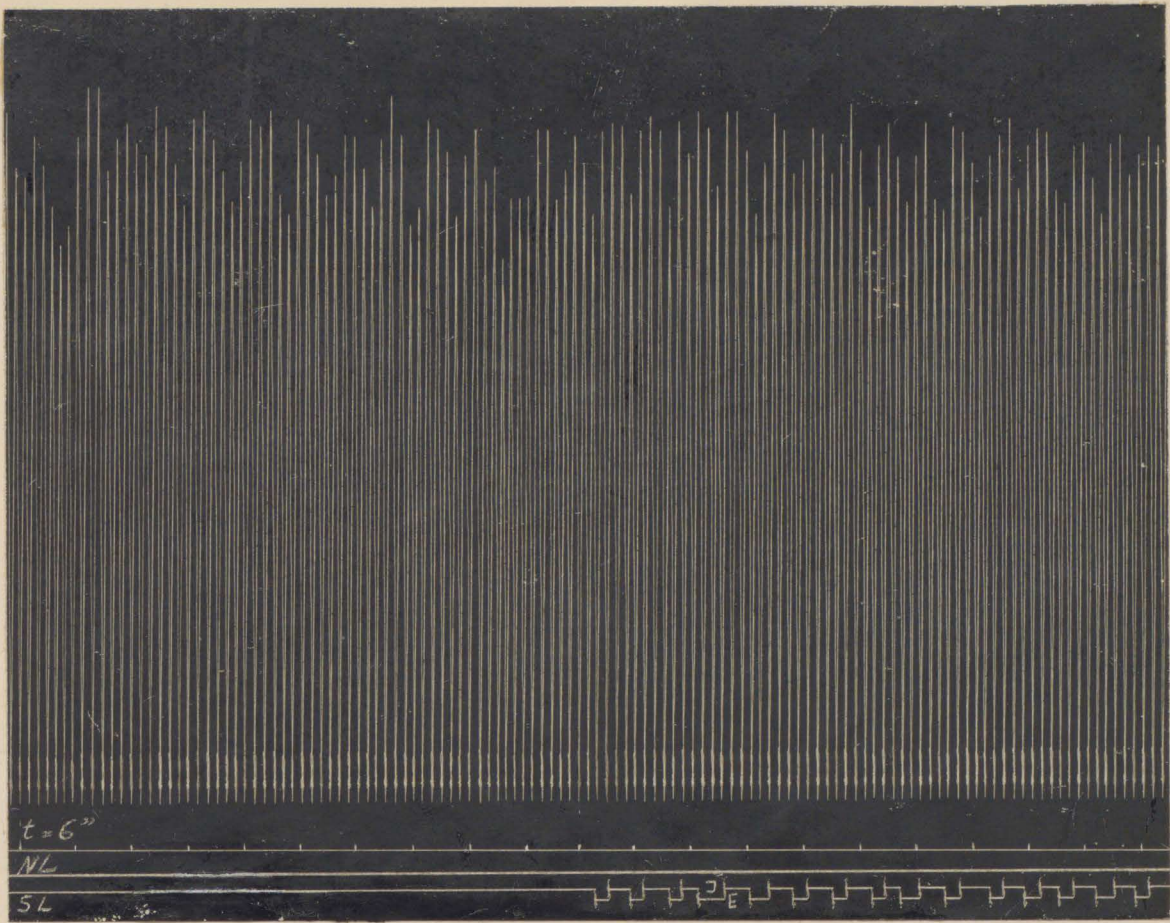


Abb. 2 a. Im Liegen.

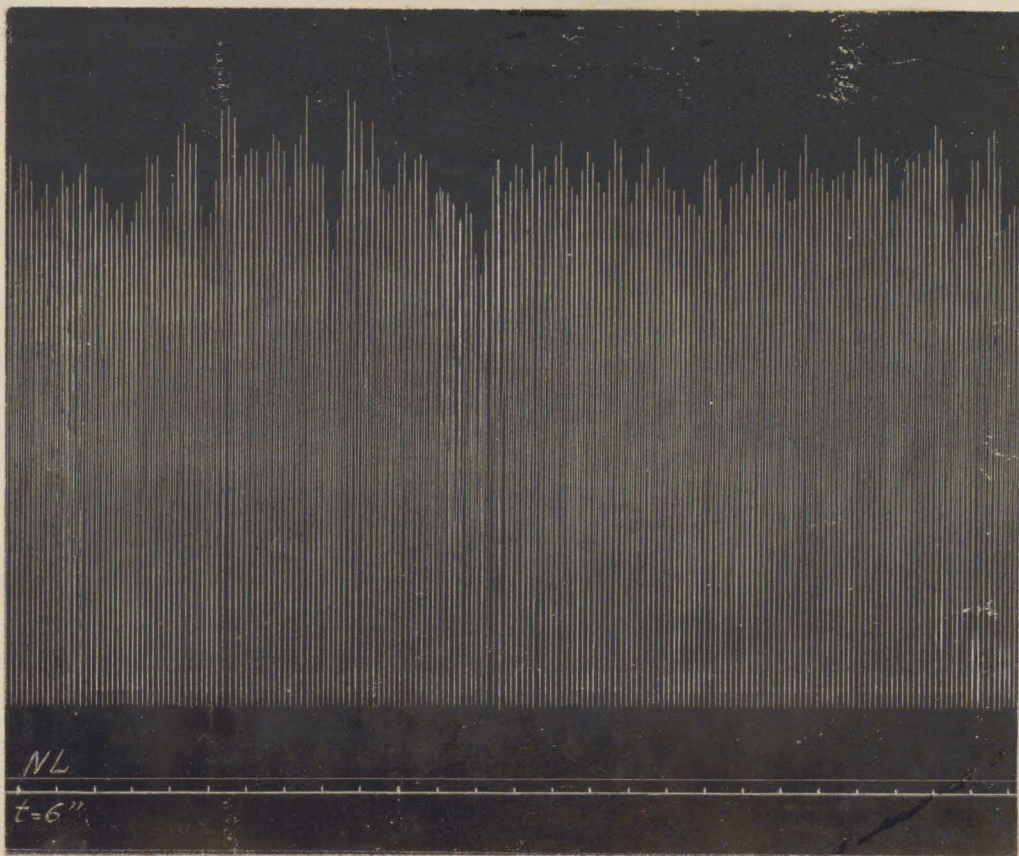


Abb. 2 b. Im Stehen.

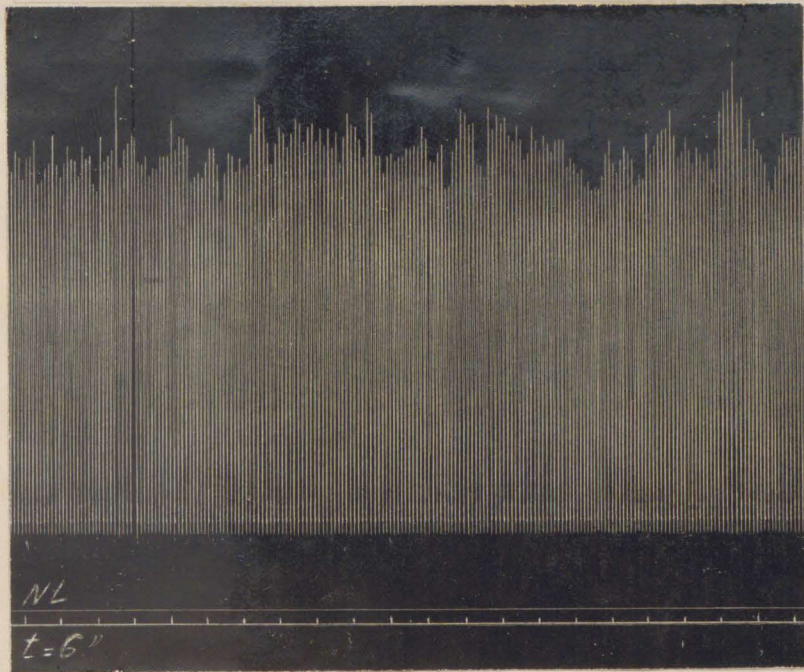


Abb. 2c. Langsamer Gang.

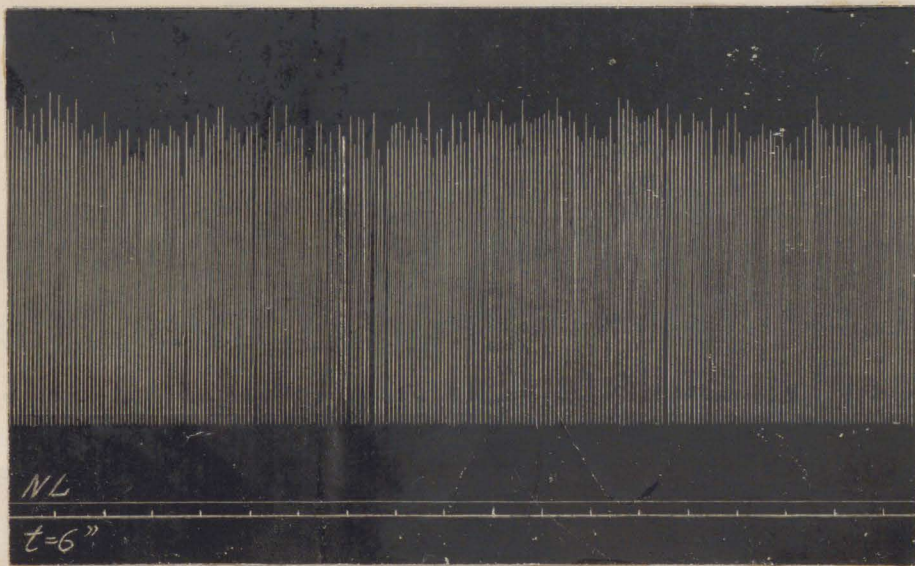


Abb. 2d. Rascher Gang.

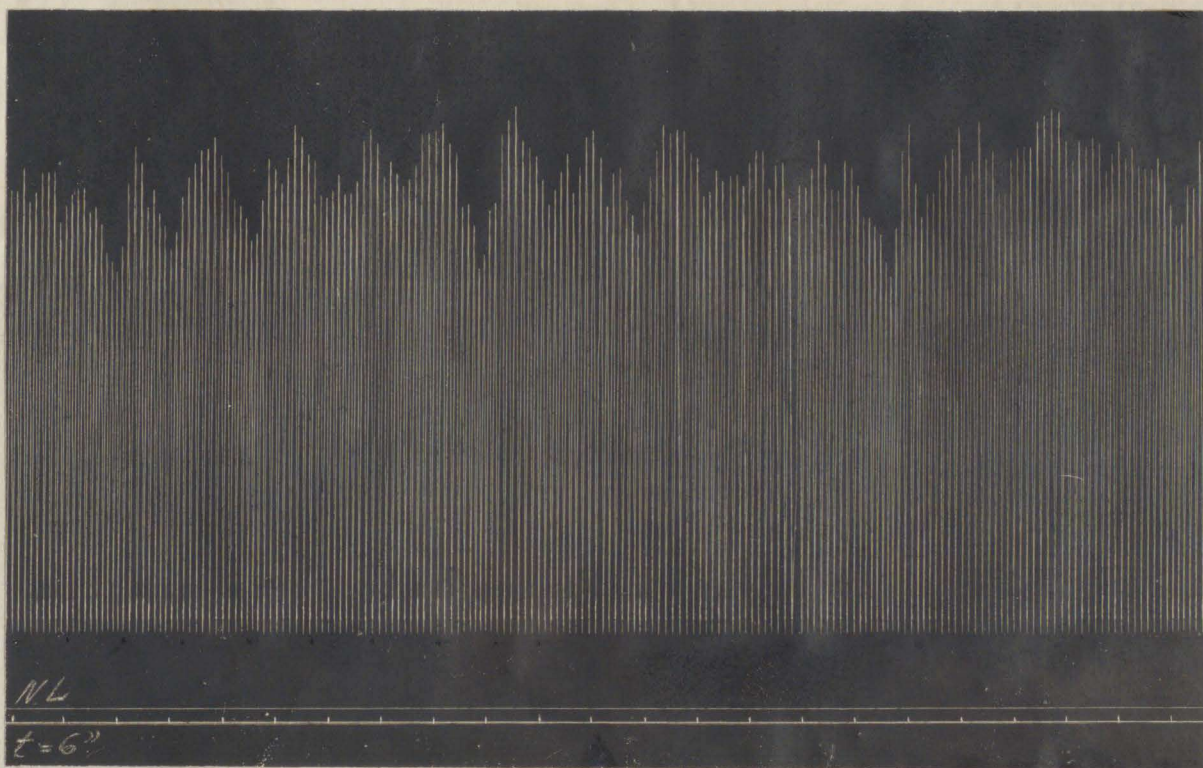


Abb. 2 e. Im Stehen nach Arbeitsleistung.

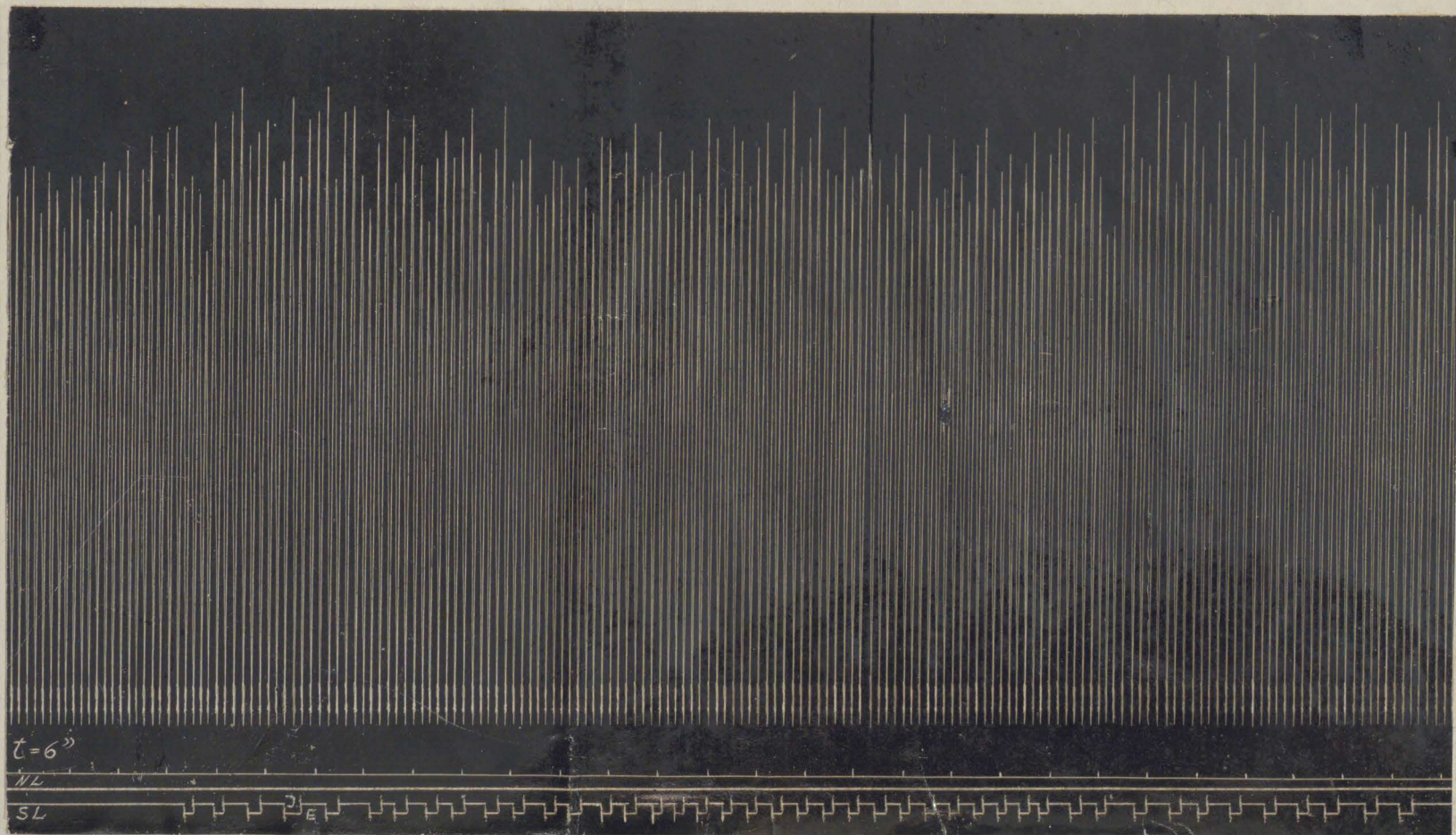


Abb. 2 f. Im Liegen nach Arbeitsleistung.

σ
in 1/100 sec.

11

Abb. 3a.

Junge männliche Versuchspersonen.

Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse)
und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate).

10

9

8

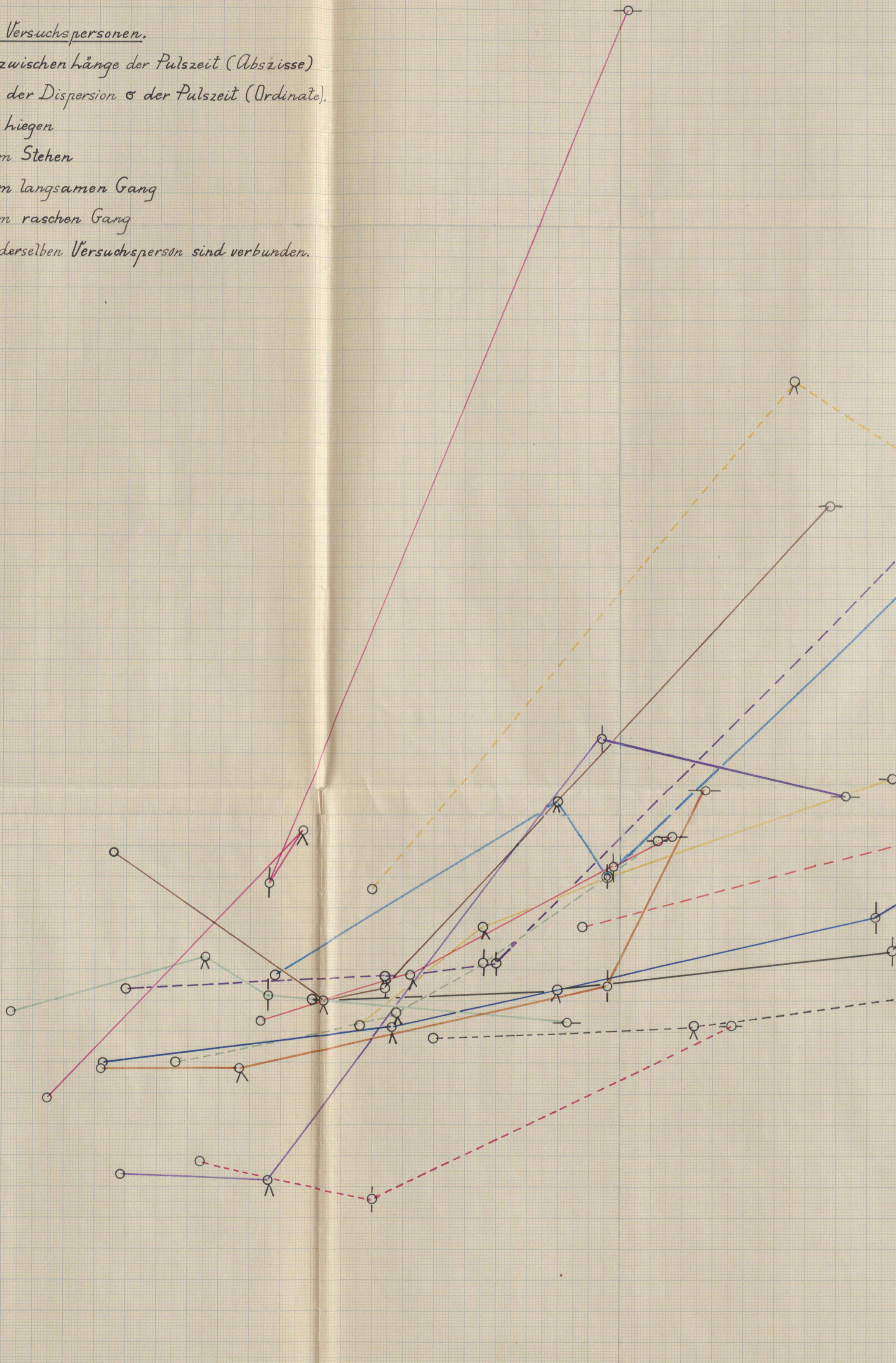
7

6

5

- = σ im Liegen
- = σ beim Stehen
- = σ beim langsamen Gang
- = σ beim raschen Gang

Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.

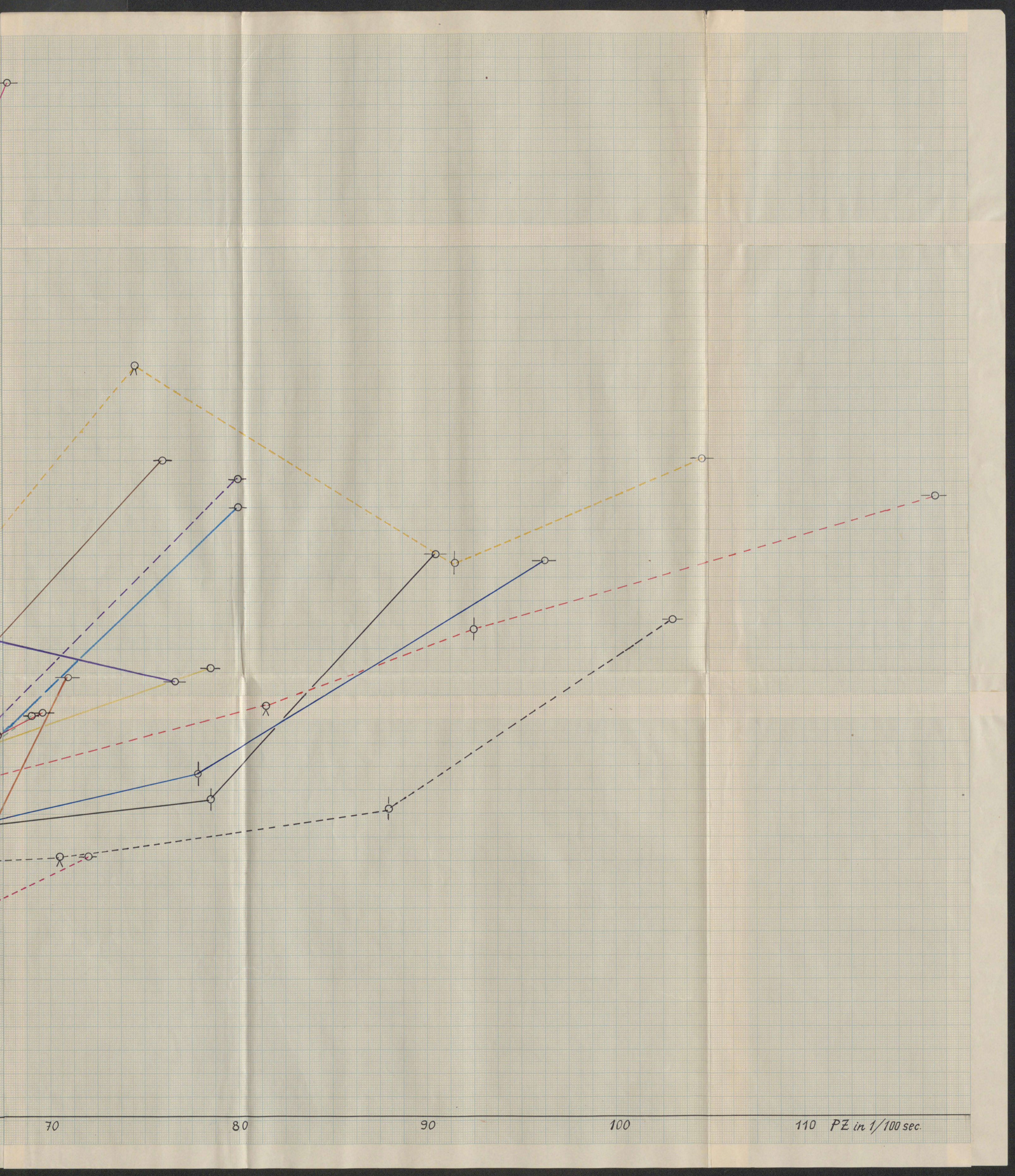


40

50

60

70



70

80

90

100

110 PZ in 1/100 sec.

Abb. 3b.

σ
in
1/100sec.

Junge weibliche Versuchspersonen.

Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse)
und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate).

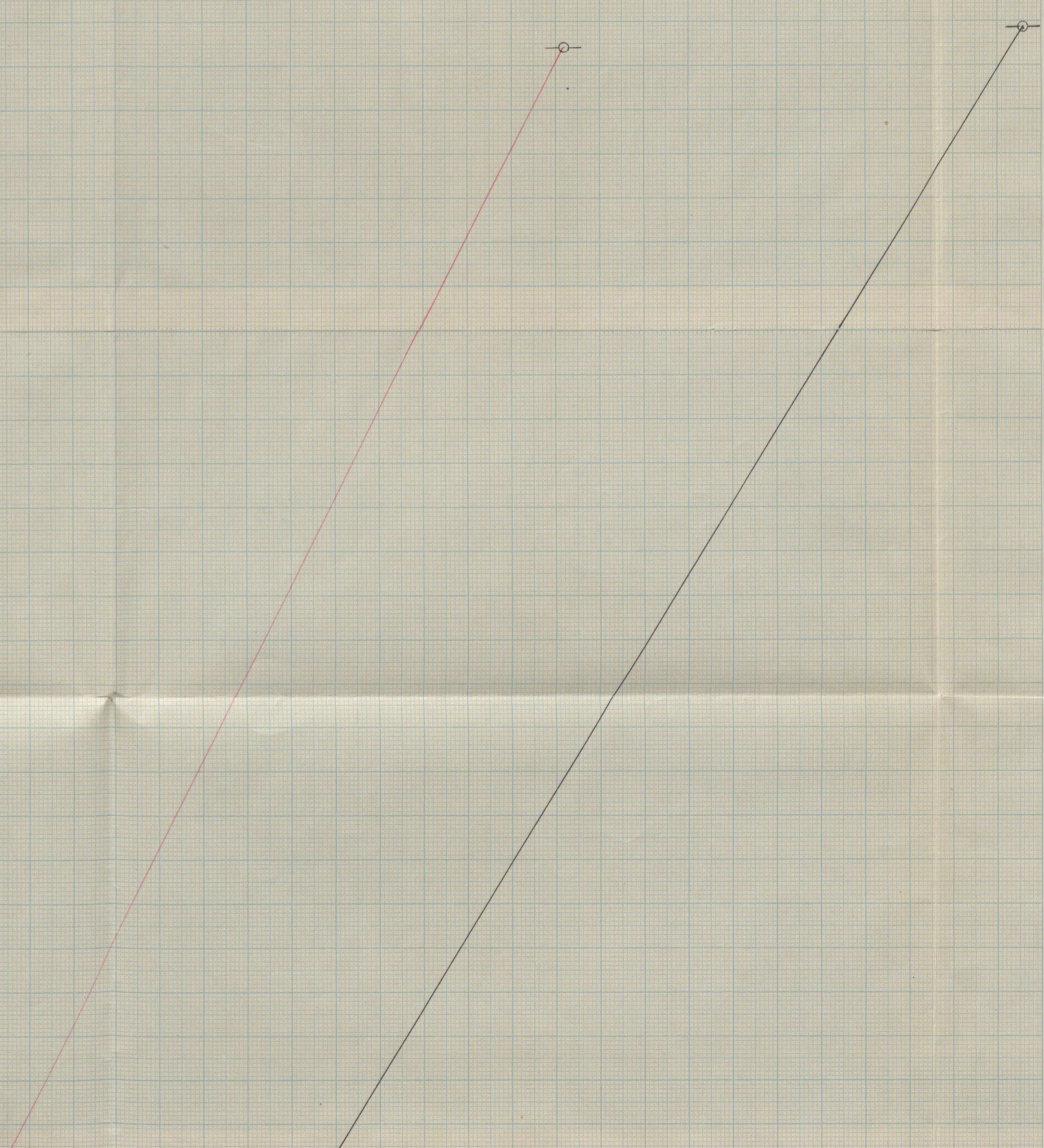
—○— = σ im Liegen

○ = σ beim Stehen

○ = σ beim langsamen Gang

○ = σ beim raschen Gang.

Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.



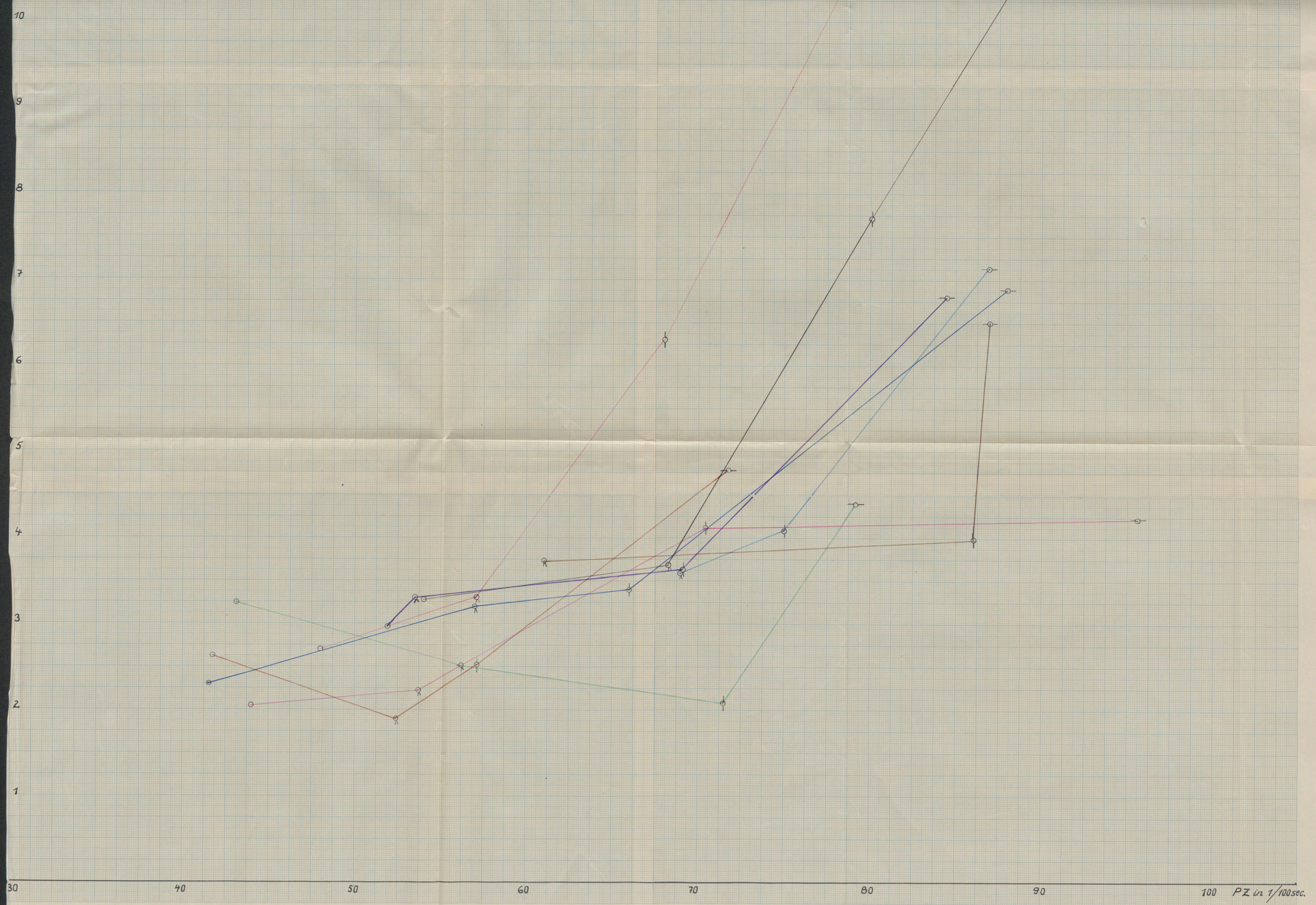


Abb. 3c. Alte männliche Versuchspersonen.

4 Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate).

- = σ im Liegen
- ⊙ = σ im Stehen
- ⊗ = σ beim langsamen Gang
- = σ beim raschen Gang.

Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.

3
2
1

30 40 50 60 70 80 90 100 PZ in 1/100 sec.

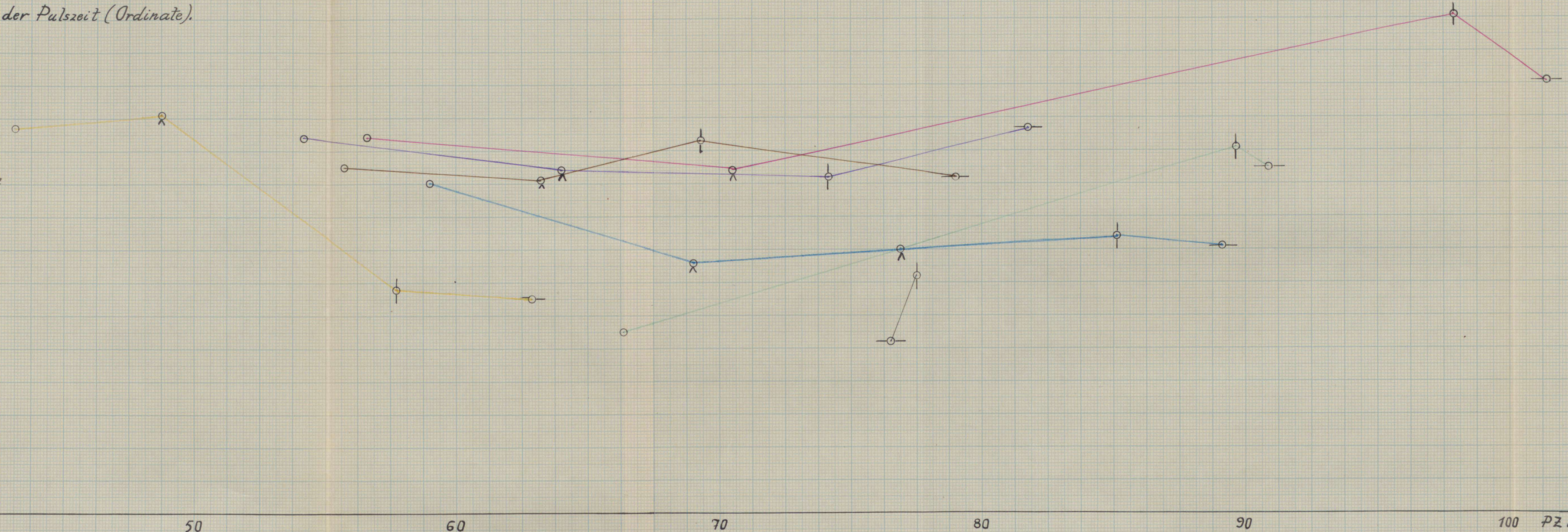


Abb. 3 d.

Alle weibliche Versuchspersonen.

Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse)
und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate).

- = σ im liegen
- = σ beim Stehen
- ⊗ = σ beim langsamen Gang
- = σ beim raschen Gang.

Alle Werte derselben Versuchsperson sind verbunden.

σ
in 1/100 sec.

5

4

3

2

1

30

40

50

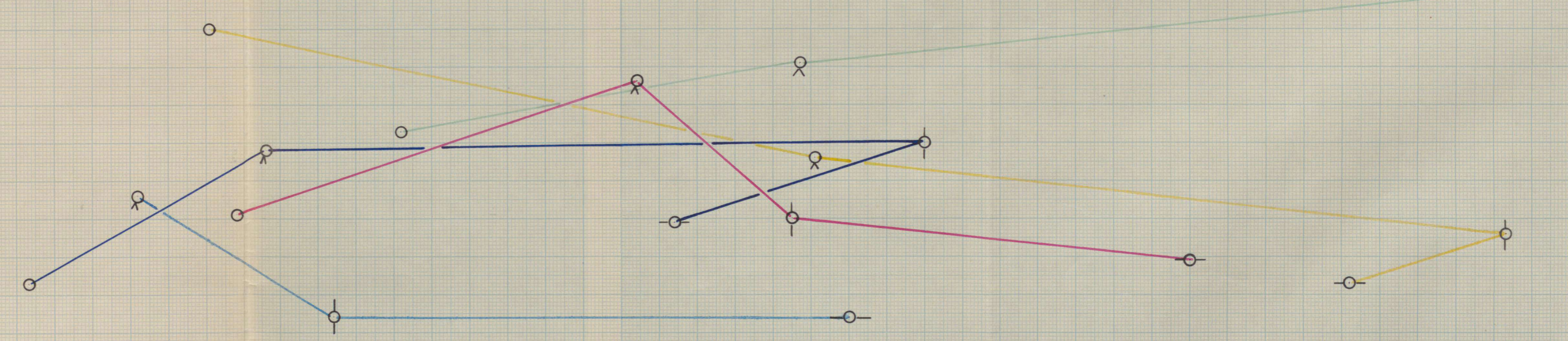
60

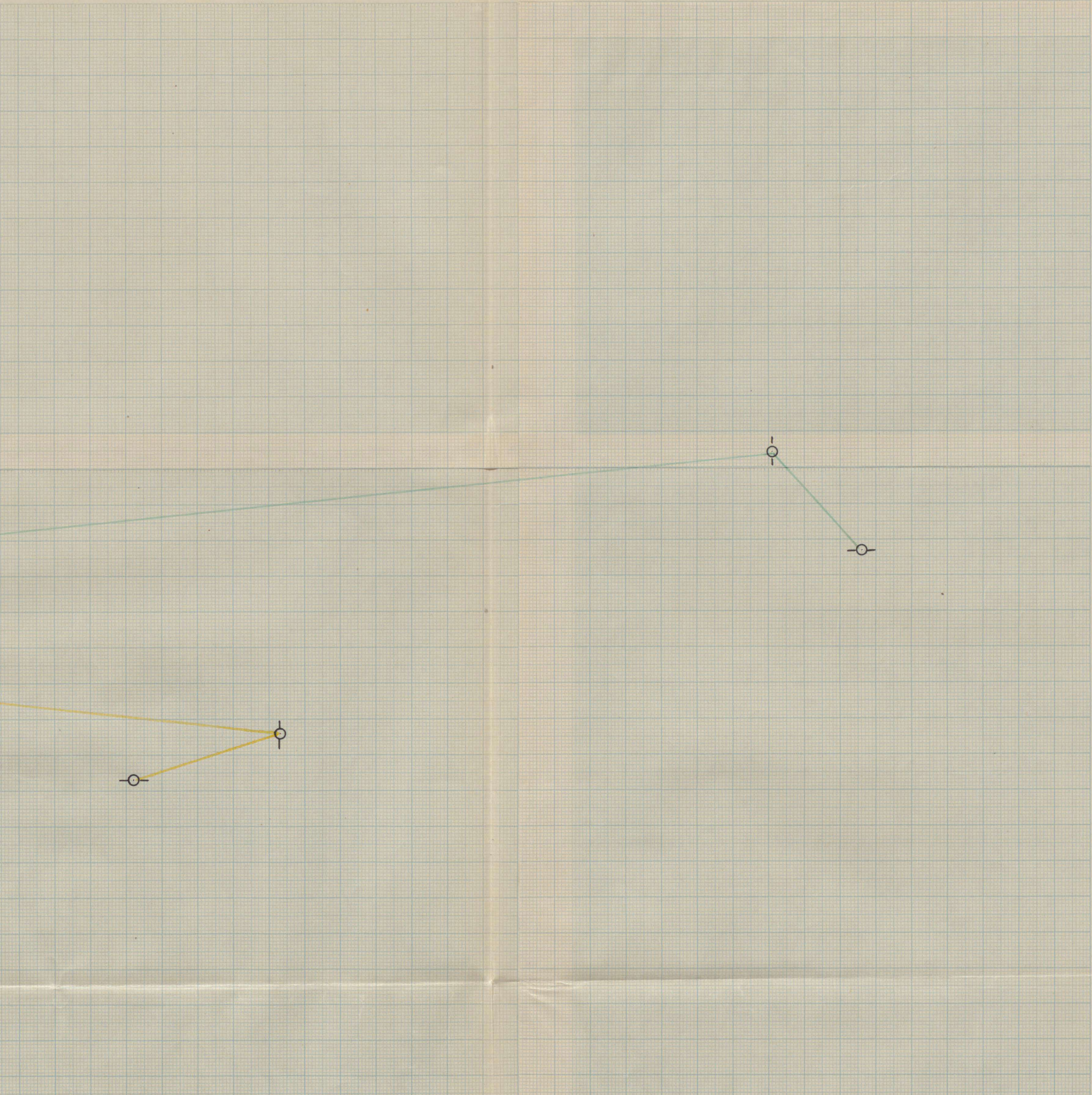
70

80

90

100





90

100

110

120 PZ in 1/100sec.

Abb. 4.

Mittelwertstabelle der Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse) und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate) für junge männliche, junge weibliche, alte männliche, alte weibliche Versuchspersonen.

σ
in 1/100 sec.

8

7

6

5

4

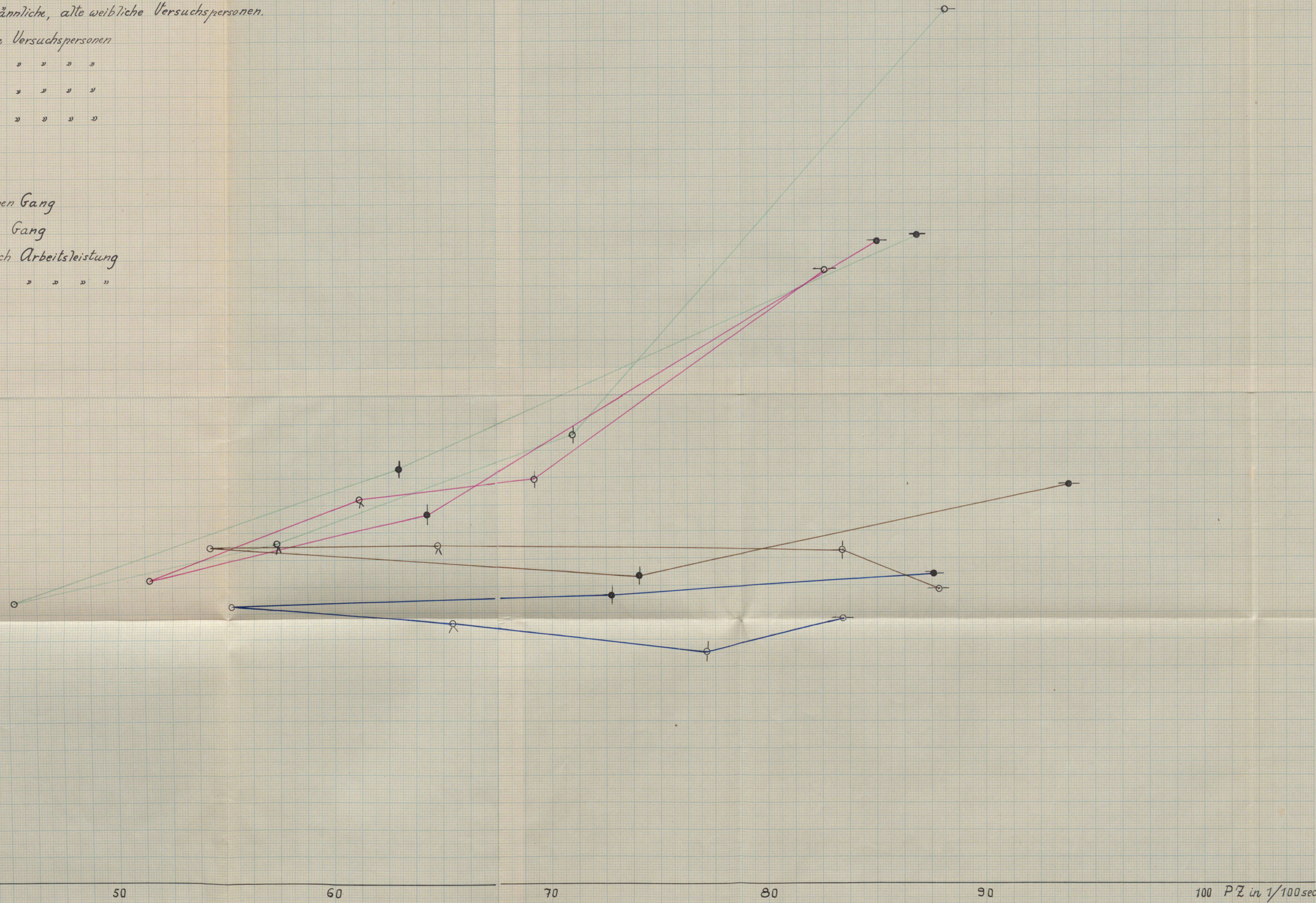
3

2

1

0

- = junge männliche Versuchspersonen
- = " weibliche " " " "
- = alte männliche " " " "
- = " weibliche " " " "
- = σ im Liegen
- = σ im Stehen
- = σ beim langsamen Gang
- = σ beim raschen Gang
- = σ im Stehen nach Arbeitsleistung
- = σ im Liegen " " " "



15

Abb. 5.

14

σ -Kurve von sämtlichen jungen Versuchspersonen.

13

Beziehung zwischen Länge der Pulszeit (Abszisse)
und Grösse der Dispersion σ der Pulszeit (Ordinate)
unabhängig vom Arbeitsgrad.

12

+ σ und - σ geben die Grenzen des Streuungsbereiches
für $\frac{2}{3}$ aller Fälle an.

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

30

40

50

60

70

80

90

100

+ σ

- σ

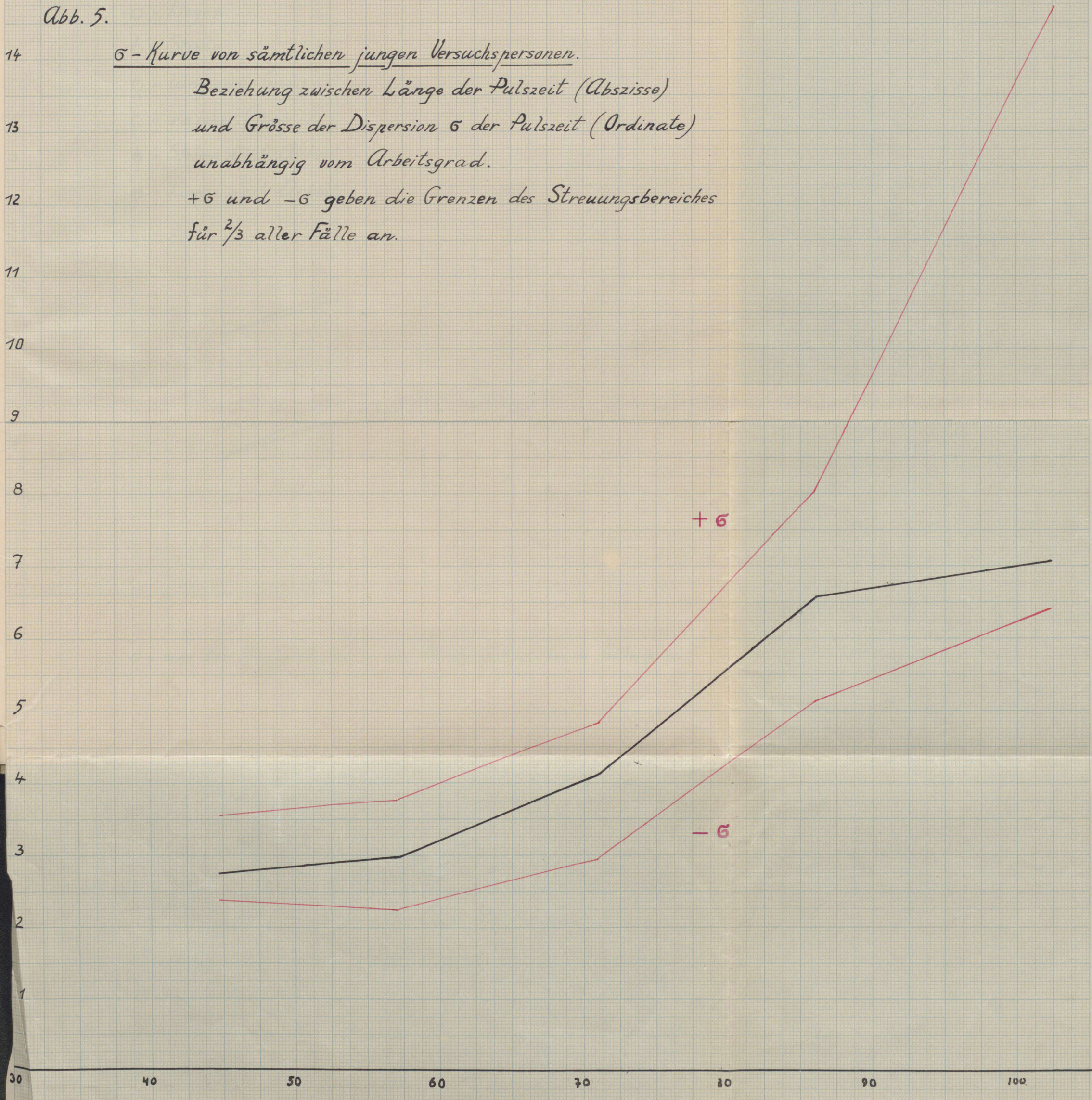


Abb. 6.

Verhalten der respiratorischen Arrhythmie und der Langwellen.

○ = liegen

◊ = Stehen

⊗ = langsamer Gang

○ = rascher Gang

● = Stehen nach Arbeitsleistung

● = liegen nach Arbeitsleistung

— = respirat. Arrhythmie;

— = langwellen.

← = zunehmende Arbeit; → = abnehmende Arbeit.

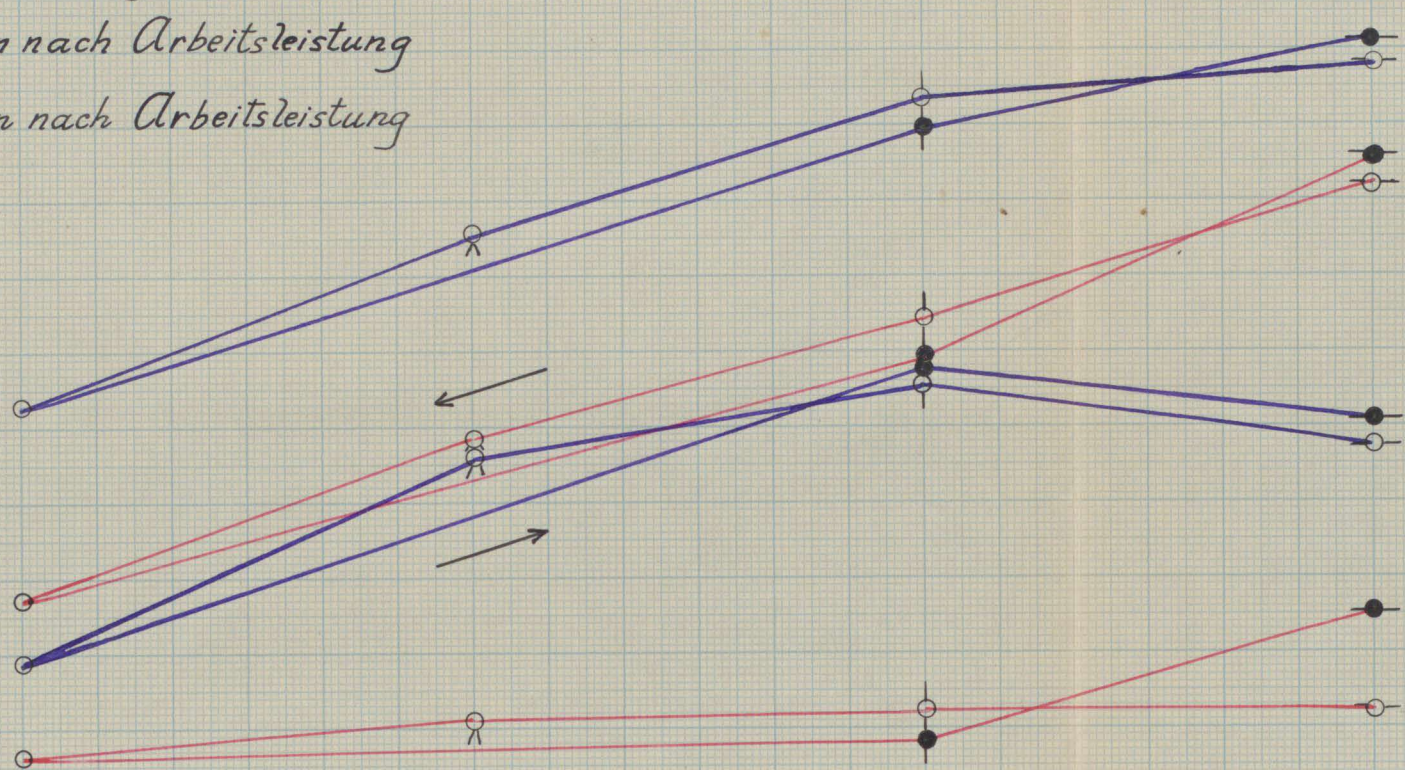
3

2

1

} jung.

} alt.



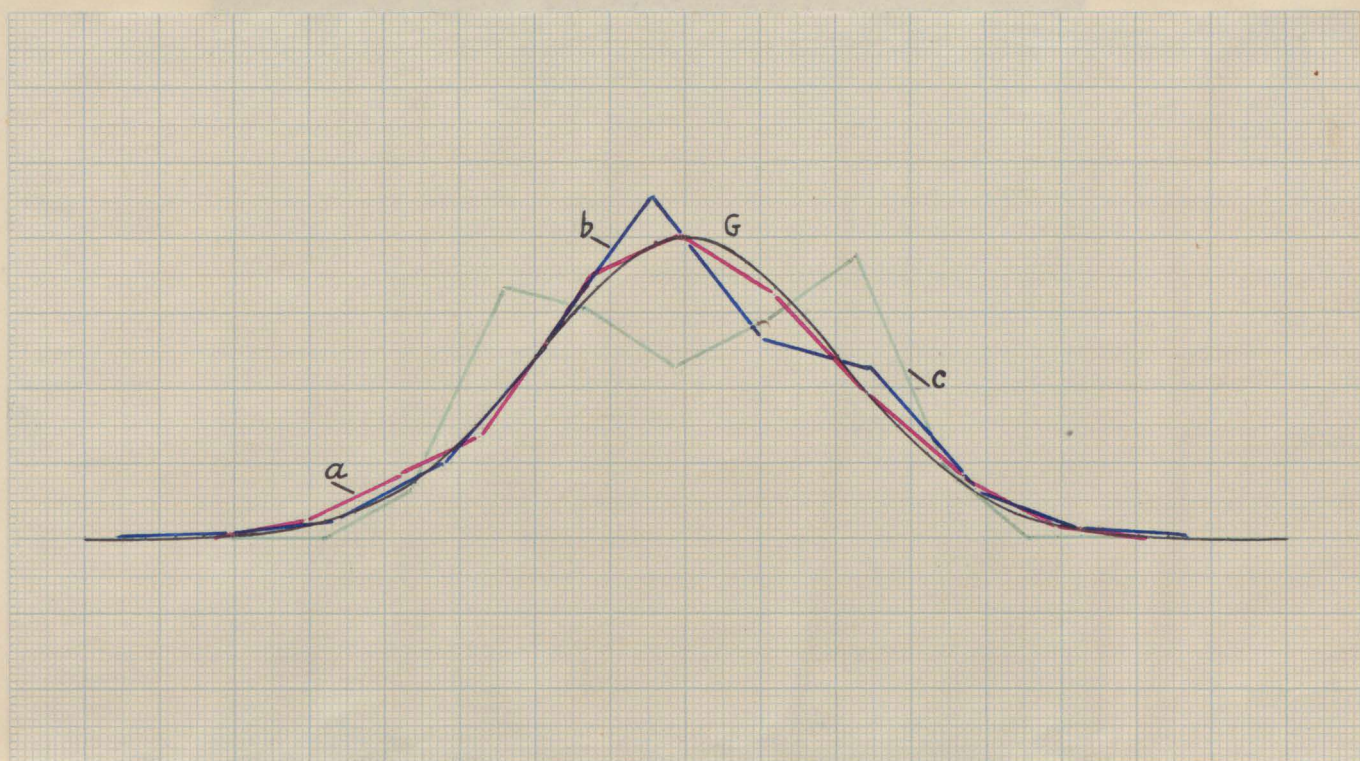


Abb. 7. Beispiel verschiedenartiger Fehlerkurven der Pulszeiten.

Die Abszisse stellt die Abweichung der Pulszeiten vom arithmetischen Mittel M dar, die Ordinate bezeichnet die Häufigkeit der Fälle.

G = korrekte Gauss'sche Fehlerkurve,

a = gut mit der Gauss'schen übereinstimmende Fehlerkurve.

b = asymmetrische Fehlerkurve.

c = eine den Doppelrhythmus des Pulses vortäuschende Fehlerkurve.

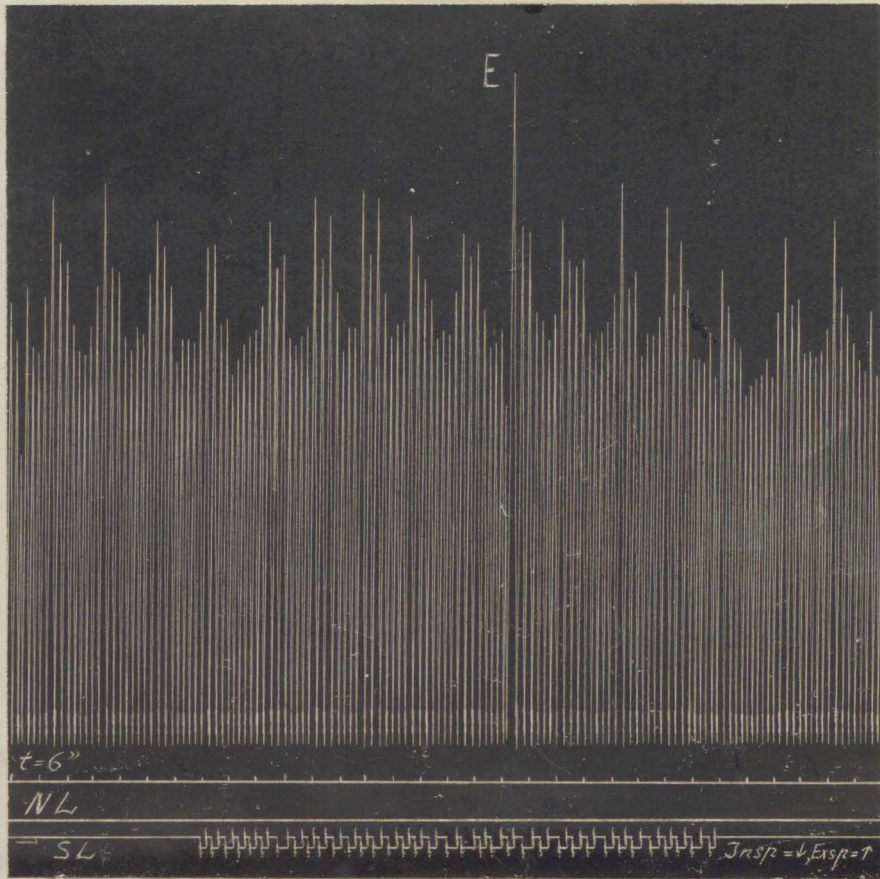


Abb. 8. Sinusarrhythmie bei einer 82-jährigen männlichen Versuchsperson, im Liegen aufgenommen.
 Reduktion 1:2 (1 mm = $\frac{2}{100}$ sec.). Bei E ventrikuläre Extrasystole.

367 318

Auhinnasid

Wilhelmson, Bertha.
Pulsfrekventsi vönkumi-
sed südame...

1931